

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

SANTIAGO – CHILE



CONVERSIÓN DE LA OPERACIÓN DE
TORNEADO EN EQUIPO MULTIPROPÓSITO A
CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO.

RUBÉN IGNACIO ÁVILA NANCUCHEO

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
MECÁNICO

PROFESOR GUÍA: DR. ING. SHEILA LASCANO

PROFESOR CORREFERENTE: ING. MARIO VILLA DURÁN

JUNIO 2020

AGRADECIMIENTOS

Gracias a toda la gente involucrada en el desarrollo de este proyecto de título, en especial a Claudio Aravena Astorga quien me acompañó en el proceso de fabricación y construcción, al profesor Mario Villa Durán por su experiencia y consejo, y a la profesora Sheila Lascano por las facilidades y apoyo a lo largo del proyecto.

Al equipo de Fablab y al laboratorio de tecnología mecánica por la facilitación de herramientas, al Profesor Leonardo Mancilla por su guía y disposición en el laboratorio de mediciones.

Y por último a mi familia por siempre estar presentes en mi vida.

RESUMEN

El presente trabajo trata de la conversión de la operación de torneado de una máquina multipropósito que es taladro, fresadora y torno, para ser usado en el estudio académico y la fabricación de piezas complejas en el laboratorio de manufactura avanzada del departamento de ingeniería mecánica de la Universidad Técnica Federico Santa María.

El desarrollo de este proyecto presenta primero un estudio de los tornos, el proceso de torneado, y del control numérico computarizado, destacando parámetros y variables. Luego se desarrolla mediante ingeniería inversa una disección de producto al equipo a convertir, buscando alternativas y proponiendo un rediseño en una lista con los tipos de componentes necesarios a incorporar, seleccionándolos en dos etapas la primera que determina el tipo de componente, y la segunda que considera las variables de entrada, salida, y los objetivos para definir el componente a usar.

Para la incorporación de estos componentes se plantean y desarrollan los criterios de diseño para los adaptadores, los cuales consideran propuesta de montaje, necesidades y restricciones que cada componente tiene en su funcionamiento individual y en conjunto.

Por último, los resultados de la fabricación e incorporación los componentes seleccionados y diseñados son mostrados en los procesos de construcción, montaje, configuración y pruebas de la máquina, concluyendo en una metodología con los pasos necesarios para realizar una conversión de un equipo manual a control numérico computarizado.

ABSTRACT

The present work deals with the conversion of the turning operation of a multipurpose machine that is a drill, milling machine and lathe, to be used in the academic study and the manufacture of complex parts in the advanced manufacturing laboratory of the mechanical engineering department at the Universidad Técnica Federico Santa María.

The development of this project presents a study of lathes, the turning process, and computer numerical control, highlighting the most important parameters and variables. Next, a product dissection is developed through reverse engineering to the equipment to be converted, looking for alternatives and proposing a redesign in a list with the types of components necessary to incorporate, selecting them in two stages: the first one that determines the type of component, and the second one that considers the input, output variables, and the objectives, to define the component to use.

For the incorporation of these components, the design criteria for the adapters are considered and developed, which consider the assembly proposal, needs and restrictions that each component has in its individual and joint operation.

Finally, the results of the manufacturing and incorporation of the selected and designed components are shown in the construction, assembly, configuration and testing processes of the machine, concluding in a methodology with the necessary steps to carry out a conversion from manual to computer numerical control.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	XV
OBJETIVOS	XVI
Objetivo General	XVI
Objetivos Específicos	XVI
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO	1
1.1 Torno y Proceso de Torneado	1
1.1.1 Partes del torno	1
1.1.2 Operaciones de torneado	3
1.2 Herramientas de corte para torneado	5
1.2.1 Geometría de la herramienta de corte:	6
1.3 Parámetros de corte de torneado	8
1.4 Materiales a Mecanizar:	11
1.4.1 Metales	11
1.4.2 Plásticos	13
1.4.3 Maderas	14
1.5 Control Numérico Computarizado (CNC)	16
1.5.1 Sistema de coordenadas y control de movimientos	16
1.5.2 Sistemas de posicionamiento	17
1.5.3 Precisión en el posicionamiento	21
1.5.4 Programación del control numérico	23
2 CAPÍTULO 2: INGENIERÍA INVERSA, REDISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES	27
2.1 Ingeniería inversa, Diagnóstico:	27
2.1.1 Máquina multipropósito GRÜNDER HQ-500	30

2.2	Propuesta para rediseño	33
2.2.1	Definición del problema inicial	33
2.2.2	Lista de componentes	35
2.3	Selección conceptual.....	38
2.4	Metodología de selección de componentes para la conversión de una máquina herramienta manual a CNC	39
2.5	Selección de detalle	47
2.5.1	Propuesta de Montaje	47
2.5.2	Equipo de procesamiento.....	51
2.5.3	Unidad de control de la maquina:.....	67
2.5.4	Programa de piezas.....	77
3	CAPÍTULO 3: DISEÑO ADAPTADORES PARA LA CONVERSIÓN	80
3.1	Estado actual de la Máquina.	80
3.2	Diseño de los adaptadores.....	81
3.2.1	Soportes de motores	82
3.2.2	Sistemas anti retroceso	86
3.2.3	Caja de hardware del dispositivo.....	93
3.2.4	Soportes finales de carrera.....	94
3.3	Estudio de pre factibilidad técnica:.....	98
3.4	Estudio de pre factibilidad económica:.....	98
4	CAPÍTULO 4: IMPLEMENTACIÓN	100
4.1	Construcción	100
4.1.1	Construcción de adaptadores.....	100
4.1.2	Modificaciones en Máquina	106
4.2	Montaje de los componentes.....	107

4.3	Hardware y Software del dispositivo.....	109
4.3.1	Cableado de la placa Controladora.....	110
4.3.2	Controladores de los motores (Drivers).....	112
4.3.3	Configuración de Software para la placa controladora	113
4.4	Resultado de la Conversión	123
4.4.1	Preparación para el trabajo.	123
4.4.2	Pruebas de funcionamiento en vacío	126
4.4.3	Capacidades finales y observaciones.....	128
4.5	Manual de Conversión Equipo manual a CNC.....	129
5	CONCLUSIONES	132
ANEXOS		2
A	Información de los componentes	2
A.1	Motores:.....	2
A.2	Transmisión de potencia.....	10
A.3	Placa controladora del sistema:	17
A.4	Controladores de motores (Drivers):	18
A.5	Fuentes de poder:	19
A.6	Programas de control	20
B.	Resultados selección por pesos ponderados:	22
B.1	Equipo de procesamiento:.....	22
B.2	Unidad de control:	23
B.3	Programa de piezas:	24
C.	Revisión sistema de correa de sincronización	24
D.	Planos de piezas fabricadas.	26

Índice de Figuras

Figura 1. Partes de un torno paralelo [1].	2
Figura 2. Operaciones posibles de mecanizado en un torno [2].	4
Figura 3. Ángulos principales de una herramienta de corte.	7
Figura 4. Ángulo de posición y de posición secundarios	7
Figura 5. Influencia del ángulo de posición de la herramienta en las fuerzas radiales y axiales.	8
Figura 6. Tipos de aceros según norma ISO para el mecanizado.	11
Figura 7. codificador óptico.	20
Figura 8. Fotografía de la máquina multipropósito HQ500.	31
Figura 9. Revoluciones por minuto (RPM) del cabezal de torno para las distintas configuraciones de las correas de transmisión, imagen obtenida del manual del usuario.	33
Figura 10. Configuración para el avance por revolución automático de la máquina.	33
Figura 11. Diagrama de flujo de selección de componentes para la conversión.	40
Figura 12. Extremos libres de los tornillos motrices para ambos carros (A) carro transversal, (B) carro principal.	48
Figura 13. Sistemas de transmisión de movimiento del eje Z, por tornillo motriz y por piñón-cremallera.	49
Figura 14. Volantes de operación manual de ambos ejes, arriba el del carro transversal y abajo el del carro principal.	49
Figura 15. Propuesta de acople de motores mediante correas de sincronización, (A) Acople eje XZ (B) acople eje Z.	50
Figura 16. Propuesta de montaje de los finales de carrera, ubicaciones mostradas en círculos negros.	51
Figura 17. Diagrama de tornillo de potencia. [17]	53
Figura 18. Diagrama de cuerpo libre para el tornillo motriz del eje X, en el plano X-Y. (A) montado en máquina, (B) cuerpo libre.	55
Figura 19. Diagrama de cuerpo libre para el tornillo motriz de movimiento z.	56
Figura 20. Motor Nema 23.	62
Figura 21. Motor paso a paso NEMA 34.	63

Figura 22. Conexiones del motor nema 34.....	64
Figura 23. Sistema de transmisión por poleas y correa.	66
Figura 24. Placa controladora RNR MACH3.....	68
Figura 25. Driver DM556.....	69
Figura 26. Driver DMA860H.	71
Figura 27. Fuentes de poder, (A)Fuente de poder 36 (V) y 9,7 (A), (B) Fuente de 24 (V) y 10 (A).....	74
Figura 28. Final de carrera.....	75
Figura 29. Botón de parada de emergencia.	76
Figura 30. Autodesk inventor, programa de diseño asistido por computadora CAD.....	77
Figura 31. Extensión de inventor, soporte CAD/CAM del mismo.	78
Figura 32. Módulo Mach3 turn. Programa procesador de código G, especializado para operaciones de torneado.	79
Figura 33. Caja del sistema de transmisión del movimiento al cabezal fijo del torno.	80
Figura 34. Diseño de soporte de motor NEMA 23 para el eje X.	83
Figura 35. Diseño de soporte de motor NEMA 34 para el eje Z.....	85
Figura 36. Carro principal de la máquina con tuerca motriz del eje X (A) Vista lateral, (B) Vista frontal.	87
Figura 37. Tornillo motriz del eje X.....	87
Figura 38. Tornillo motriz del eje X unido al carro transversal.	88
Figura 39. Tuerca partida del eje z para el movimiento automático del carro principal.	88
Figura 40. Caja de accionamiento automático del movimiento del carro principal.	89
Figura 41. Tornillo motriz del eje Z.	89
Figura 42. Diseño de sistema anti retroceso para el eje X, (A) vista en isométrico, (B) vista superior.	90
Figura 43. Subcomponentes del sistema anti retroceso del eje X., (A) segunda tuerca motriz, (B) placa anti retroceso, (C) pletinas anti retroceso.	91
Figura 44. Sistema anti retroceso del eje Z, (A) Vista en isométrico, (B) Vista frontal.	92
Figura 45. Subcomponentes del sistema anti retroceso del eje Z, (A) segunda tuerca motriz, (B) Soporte zapata de ajuste, (C) zapata de ajuste anti retroceso.....	92

Figura 46. Diseño caja de hardware de control. (A) Vista en isométrico, (B) Vista superior.	94
Figura 47. Final de carrera X- inicio de la carrera del eje X.	96
Figura 48. Final de carrera X+ final de la carrera del eje X.	96
Figura 49. Final de carrera Z – inicio de la carrera del eje Z. (A) Vista en Isométrico, (B) Vista en máquina.	97
Figura 50. Final de carrera Z+ final de la carrera del eje Z. (A) Vista en isométrico, (B) Vista en máquina.	97
Figura 51. Soporte de motor eje X construido.	101
Figura 52. Soporte del motor del eje Z construido.	101
Figura 53. Roscas de tornillos motrices de los ejes X y Z.	102
Figura 54. Proyector de perfiles utilizado para la medición del tipo de rosca de los tornillos motrices (A) Montaje del tornillo del eje X, (B) vista al momento de medir el perfil del tornillo.	102
Figura 55. Variables a medir para identificar los perfiles de los tornillos motrices.	103
Figura 56. Tuercas de tornillos motrices para sistema anti retroceso de ambos ejes.	104
Figura 57. Resultado Sistema anti retroceso del eje X.	104
Figura 58. Resultado Sistema anti retroceso del eje Z.	105
Figura 59. Caja de hardware (sin tapa), (A) caja final, (B) conjunto electrónico de la máquina.	105
Figura 60. Perforaciones realizadas a la bancada.	106
Figura 61. Extensión eje de tornillo motriz del eje X. (A) eje original con su extensión, (B) eje final extendido.	107
Figura 62. Resultado del montaje.	109
Figura 63. Flujo de Información para la creación de piezas con control numérico. [22].	109
Figura 64. Cableado de la RRN motion controller dado por el fabricante.	110
Figura 65. Cableado realizado para las conexiones a la placa controladora.	111
Figura 66. Ventana de reconocimiento de la placa controladora y máquinas conectadas al computador.	113
Figura 67. Ventanas emergentes al seleccionar Mach 3 Loader. (A) Ventana de inicio, (B) Ventana para crear un nuevo perfil de trabajo.	114

Figura 68. Interfaz inicial de trabajo de Mach 3 Turn.....	114
Figura 69. Selección de configuración de unidades de medida de trabajo (A) selección del menú de configuración, (B) selección de la unidad de trabajo.....	115
Figura 70. Configuración de puertos de Mach 3.	115
Figura 71. Configuración de salidas al motor.	116
Figura 72. Configuración de señales de entrada.....	116
Figura 73. Configuración de señales de entrada segunda parte.....	117
Figura 74. Configuración de señales de salida tercera parte.	117
Figura 75. Configuración de codificadores y joysticks.	118
Figura 76. Configuración de husillo de potencia.....	118
Figura 77. Configuración de trabajo del torno.	119
Figura 78. Interfaz de configuración de los motores.	120
Figura 79. Interfaz de operación Mach 3 turn, los botones de marcar en cero se muestran en círculos rojos.	124
Figura 80. Interfaz para trabajar con código CAD/CAM. (A) buscador de archivos (B) visualización de la trayectoria de mecanizado del código.....	125
Figura 81. Parámetros de configuración para el motor NEMA 23 del eje X.	127
Figura 82. Parámetros de configuración para el motor NEMA 34 del eje Z.....	127
Figura 83. Motor paso a paso.	3
Figura 84. Motor unipolar.	4
Figura 85. Motor bipolar.	4
Figura 86. Motor bifilar.	5
Figura 87. Motor paso a paso híbrido.....	6
Figura 88. Gráfica de torque vs velocidad de un motor paso a paso.....	7
Figura 89. Servomotor de codificador con salida de puerto serial.	8
Figura 90. Tipos de servomotores.	10
Figura 91. Husillo de bolas re circulantes	11
Figura 92. Husillo de rosca de potencia.	13
Figura 93. Tipos de perfiles de roscas de tornillo de potencia.	14
Figura 94. Mecanismo de piñón – cremallera.	16
Figura 95. Placa controladora, (A) placa por puerto paralelo, (B) placa por puerto usb.....	17

Figura 96. Controladores de motores, (A) regulado mediante potenciómetro, (B) regulado por interruptores	18
Figura 97. Placa controladora con controladores de motores incluidos.	19
Figura 98. Tipos de fuentes de poder existentes en el mercado (A) transformador de voltaje fijo, (B) fuente de poder regulable, (C) fuente de poder de voltaje fijo.	20
Figura 99. Diagrama Potencia vs RPM de la correa de sincronización HTD 5M [29].	25
Figura 100. Plano soporte de motor del eje X.	27
Figura 101. Plano soporte de motor del eje Z.	27
Figura 102. Plano tuerca motriz del eje X.	28
Figura 103. Plano placa anti retroceso.....	28
Figura 104. Plano pletinas anti retroceso.	29
Figura 105. Planos tuerca motriz del sistema anti retroceso del eje Z.	29
Figura 106.. Plano soporte de zapata.....	30
Figura 107. Plano soporte final de carrera X-.	30
Figura 108. Plano soporte final de carrera X+.	31
Figura 109. Plano soporte final de carrera Z-.	31
Figura 110. Plano soporte final de carrera Z+.	32

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades de los tipos de aceros según norma ISO.	12
Tabla 2. Recomendaciones de mecanizado de acuerdo al catálogo de Plastigen para distintos tipos de plásticos mecanizables. [7]	14
Tabla 3. Características mecánicas del MDF.	15
Tabla 4. Especificaciones para realizar operaciones de torneado.	31
Tabla 5. Especificaciones para realizar operaciones de fresado y taladrado.	32
Tabla 6. Especificaciones generales de la máquina.	32
Tabla 7. Criterios para la selección de componentes mediante pesos ponderados.	39
Tabla 8. Evaluación de los criterios de selección por pesos ponderados	39
Tabla 9. Coeficientes de roces entre tornillo y tuerca motriz.	54
Tabla 10. Coeficientes de roce entre tornillo motriz y descansos.	54
Tabla 11. Volumen obtenido de las dimensiones generales de los elementos de la máquina.	57
Tabla 12. Parámetros de la máquina necesarios para estimar la fuerza de corte en el torneado.	58
Tabla 13. Cuadro de capacidades de velocidad de corte y fuerza de corte de la máquina HQ500.	58
Tabla 14. Parámetros de tornillo motriz de eje X.	61
Tabla 15. Características físicas del motor NEMA 23 seleccionado.	62
Tabla 16. Características eléctricas del motor NEMA 23 seleccionado.	62
Tabla 17. Características físicas del motor NEMA 34 seleccionado.	63
Tabla 18. Características eléctricas del motor NEMA 34 seleccionado.	63
Tabla 19. Características físicas de la correa de sincronización.	66
Tabla 20. Características físicas de las ruedas dentadas de la transmisión de correa de sincronización.	66
Tabla 21. Características físicas de la placa controladora.	68
Tabla 22. Características electrónicas de la placa controladora.	68
Tabla 23. Configuración de corriente para el controlador del motor del eje x.	69

Tabla 24.configuración para los pulsos por revolución del controlador del motor del eje x.	70
Tabla 25. Características físicas del controlador del eje X.....	70
Tabla 26. Características electrónicas del controlador del eje X.....	71
Tabla 27.Configuración del controlador del motor del eje Z.	72
Tabla 28. Configuración del controlador del motor del eje Z.	72
Tabla 29. Características físicas del controlador del motor del eje Z.....	73
Tabla 30. Características electrónicas del controlador del motor del eje Z.....	73
Tabla 31. Caraterísticas físicas de la fuente de poder para los motores.	74
Tabla 32. Características electornicas de la fuente de poder para los motores.	74
Tabla 33. Características físicas de la fuente de poder de la placa controladora.	74
Tabla 34. Características electrónicas de la fuente de poder de la placa controladora.....	75
Tabla 35. Características físicas del final de carrera.	76
Tabla 36. Características electrónicas del final de carrera.	76
Tabla 37. Características físicas botón de parada de emergencia.....	77
Tabla 38. Costos componentes necesarios para la conversión.	99
Tabla 39. Costos de materiales necesarios para la conversión.	99
Tabla 40. Medidas del perfil del tornillo motriz del eje X.	103
Tabla 41. Medidas del perfil del tornillo motriz del eje Z.....	103
Tabla 42. Tabla de ponderación de selección de motor.	22
Tabla 43. Tabla de selección del mecanismo de transmisión.....	22
Tabla 44. Tabla de selección tipo de fuente de poder.	23
Tabla 45. Cálculos correa sincronizadora.....	25

1. INTRODUCCIÓN

El control numérico computarizado (CNC) es una forma de automatización programable en el cual un programa informático que contiene datos alfanuméricos codificados controla las acciones de una parte de una máquina. Estos datos representan el movimiento relativo entre cabeza de trabajo, que es el elemento de procesamiento de la información, y la pieza de trabajo, que es el elemento que se procesa. En la manufactura moderna este sistema se utiliza para la materialización de piezas cada vez con mayor frecuencia, en máquinas herramientas como tornos y fresadoras.

Existen diversas ventajas en comparación a la operación manual, entre ellas se encuentra la utilización de software CAD/CAM que permiten la materialización directa de los objetos diseñados, además de ofrecer exactitud, repetitividad, precisión, velocidad, calidad, flexibilidad, seguridad, evitando el contacto físico humano en el proceso de fabricación.

En este contexto, el presente trabajo de título corresponde a la implementación de un sistema de control numérico para la operación de torneado de un equipo multipropósito, el cual será utilizado en el Departamento de Mecánica de la Universidad Técnica Federico Santa María.

OBJETIVOS

Objetivo General

Diseñar e implementar un control numérico computarizado para automatizar la operación de torneado en un equipo multipropósito, para su posterior uso en el laboratorio de manufactura avanzada.

Objetivos Específicos

- Estudiar el funcionamiento del equipo a convertir y las tecnologías de Control Numérico Computarizado.
- Especificar y evaluar variables en el proceso de conversión de torneado manual a automático por CNC.
- Definir la tecnología para controlar el equipo.
- Diseñar e implementar sistema de control del equipo.
- Implementar una metodología paso a paso para conversión de un equipo manual a Control Numérico Computarizado.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

En este capítulo se desarrolla el estudio del proceso de torneado, y del control numérico computarizado. Destacando parámetros y variables presentes a tener en cuenta.

1.1 Torno y Proceso de Torneado

El torneado es un proceso de mecanizado por arranque de viruta, en el cual una herramienta con filo deforma una parte de la superficie de la pieza de trabajo hasta separarlo en forma de viruta, obteniendo una nueva forma de la pieza. De este proceso se identifican dos principales movimientos, el primero es el de la pieza de trabajo que gira alrededor de un eje, y el segundo es el movimiento de la herramienta de corte que se desplaza en un plano que contiene al eje de giro y controla la posición relativa pieza – herramienta, teniendo un avance radial (perpendicular al eje de giro) y un avance axial (en la misma dirección del eje de giro).

El torneado se realiza habitualmente en la máquina herramienta llamada torno.

1.1.1 Partes del torno

En la Figura 1 se pueden apreciar las principales partes de un torno paralelo:

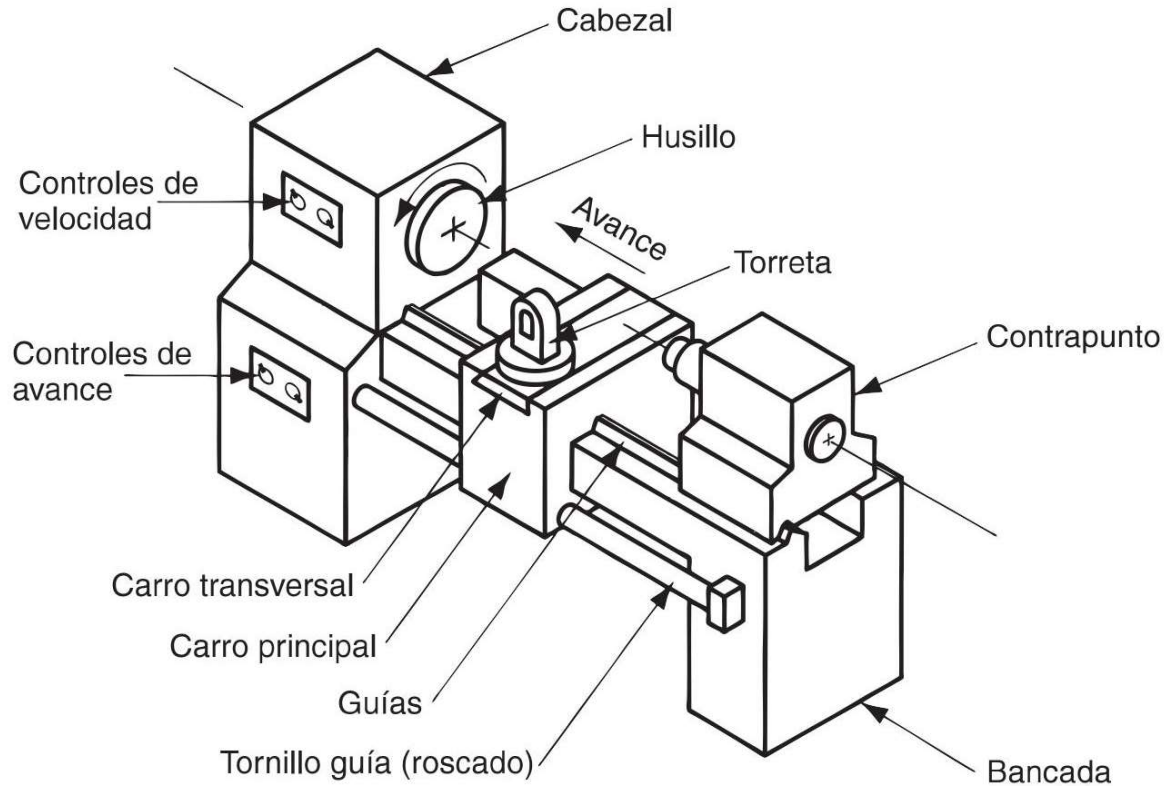


Figura 1. Partes de un torno paralelo [1].

- Bancada: Es la superficie de soporte para las otras unidades del torno. En su parte superior lleva unas guías por las que se desplaza el contrapunto y el carro principal.
- Cabezal fijo: Está fijo a la bancada, contiene al motor y los mecanismos de transmisión que hacen girar el husillo donde se montan los dispositivos que sujetan a la pieza de trabajo.
- Contrapunto o cabezal móvil: Es un carro móvil donde se instala un centro que sostiene y le da estabilidad a la pieza de trabajo, en él también se pueden instalar portaherramientas para brocas para procesos de taladrado
- Carro principal: Es un carro móvil, el cual se desliza sobre la parte superior de las guías de la bancada, produciendo el movimiento de avance de la herramienta de corte, el cual es axial al eje de giro de la pieza.
- Carro transversal: Este carro se desliza de manera perpendicular al carro principal, para así dar la profundidad al corte de la pieza, siendo el avance de manera radial al eje de giro de la pieza.

- Torreta: Es el componente encargado de sujetar las herramientas de corte, suele estar apoyada sobre un carro auxiliar que va montado sobre el carro transversal, que le da la posibilidad de girar para poder cambiar de herramienta.
- Tornillo Guía o Tornillo motriz: Es el componente encargado de transmitir la potencia del motor para el avance automático del carro principal.
- Controles de velocidad: contiene palancas para configurar los mecanismos de transmisión que están en el cabezal y ajustar a distintas revoluciones el husillo en conjunto con los controles de avance también son definidos como caja Norton.
- Controles de avance: contiene palancas que permiten conectar el tornillo guía al motor y dar un movimiento conjunto del motor y del carro principal o transversal.

1.1.2 Operaciones de torneado

Durante el proceso de torneado de la máquina herramienta se pueden realizar distintas operaciones de corte de viruta tanto internas como externas, entre ellas se encuentran las siguientes, mostradas en la Figura 2:

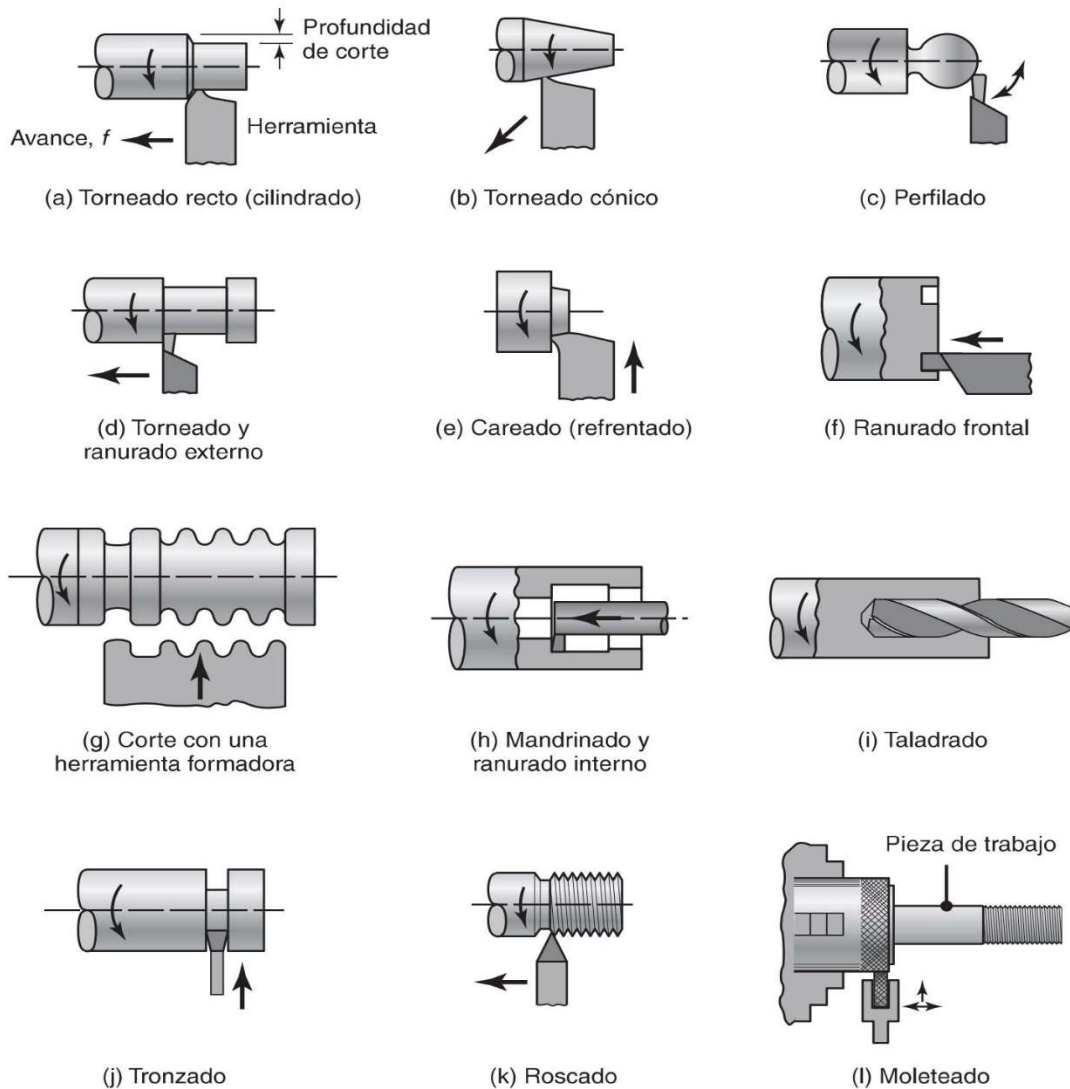


Figura 2. Operaciones posibles de mecanizado en un torno [2].

- Torneado: en esta operación la herramienta realiza un movimiento paralelo al eje de rotación de la pieza (avance axial), este puede ser recto (cilindrado) como se muestran en la figura 2 (a) y figura 2 (d). Cónico, figura 2(b), en donde el movimiento tiene un ángulo respecto al eje de giro. De perfilado, figura 2(c), en donde la herramienta además realiza movimientos perpendiculares al eje de giro.
- Careado (Refrentado): en esta operación la herramienta de corte realiza un movimiento perpendicular al eje de giro, creando una superficie plana, figura 2 (e).
- Ranurado Frontal: la herramienta avanza de manera paralela al eje de giro, con el fin de crear ranuras en forma de anillos, figura 2 (f).

- Corte con herramienta formadora: en esta operación se imparte la forma que tiene la herramienta mediante un avance radial de la herramienta, figura 2 (g).
- Mandrinado o perforado: la herramienta realiza un avance axial para agrandar una perforación previamente hecha, figura (h).
- Taladrado: en esta operación una broca penetra axialmente en la pieza de trabajo mientras esta está girando.
- Tronzado: en esta operación la herramienta avanza radial con el fin de cortar o remover material en la pieza de trabajo.
- Roscado: la herramienta realiza un avance axial para producir hilos tanto externos como internos.
- Moleteado: se imprimen superficies rugosas con una herramienta especial que realiza un avance radial y que gira con la pieza que se está mecanizando.

1.2 Herramientas de corte para torneado

Para lograr el mecanizado de formas de simetría cilíndrica mediante un torno se necesita una herramienta de corte o cuchilla que removerá el material en el proceso de mecanizado. Es requisito indispensable que la herramienta presente alta dureza, resistencia al desgaste y ductilidad en relación al material de la pieza de trabajo.

Se pueden clasificar según los siguientes criterios:

- Material: Acero al carbono, acero rápido, carburo cementado, cermet, cerámica, nitruro de boro cúbico (CBN) o diamante poli cristalino (PCD).
- Dirección de avance: Corte derecho (R) o corte izquierdo (L).
- Forma del vástago: Vástago recto o acodado.
- Propósito: Cilindrado, refrentado, roscado, mandrinado, taladrado, escariado o taladrado.
- Método de fabricación: Herramientas enteras o herramientas compuestas.

De las herramientas de corte a seleccionar para utilizar en el torno se tienen aquellas que son enterizas (buriles) de las cuales se puede acomodar su geometría en un esmeril, y por otra

parte aquellas que son de plaquitas reemplazables, en donde se mantiene un portaherramientas y es el filo de la plaquita el que se reemplaza.

1.2.1 Geometría de la herramienta de corte:

En las herramientas de corte es importante controlar la geometría ya que tendrá directa influencia en las fuerzas que se presentarán tanto en la pieza como en la máquina herramienta, y en la formación de viruta, siendo mejor una geometría a otra según el material que se está mecanizando. En una herramienta de corte se pueden distinguir los siguientes ángulos:

a. Ángulos Principales

- Ángulo de incidencia (α): es el ángulo formado por un eje paralelo al avance de la herramienta (horizontal) y un eje ubicado en el plano de la cara superior de filo de la misma.
- Ángulo de filo (β): Es el ángulo formado por las caras del filo y cara lateral de la herramienta de corte.
- Ángulo de desprendimiento/ataque (γ): es el ángulo formado por un eje vertical y la cara lateral de la herramienta de corte.
- Ángulo de inclinación del filo (λ): ángulo formado por un eje perpendicular al avance de la herramienta y un eje ubicado en el plano de la cara superior de misma.



Figura 3. Ángulos principales de una herramienta de corte.

Como se observa en la Figura 3 la suma de los tres ángulos alfa, beta y gamma forman 90° , a medida que el ángulo beta es más pequeño, aumenta su efecto cortante, pero disminuye su resistencia.

b. Ángulos secundarios:

- Ángulo de posición (K): es el ángulo formado entre el filo de la herramienta y el avance de la misma, es la posición en que se coloca el filo para el corte, en herramientas de plaquitas este ángulo es dado por el portaherramientas.
- Ángulo de posición secundario (K_n): ángulo suplementario a la suma del ángulo de posición (K) y al ángulo de filo.

Estos ángulos se pueden ver en la Figura 4.



Figura 4. Ángulo de posición y de posición secundarios

A continuación, se muestra como la geometría afecta en la dirección de las fuerzas de corte, a partir del ángulo de posición R.

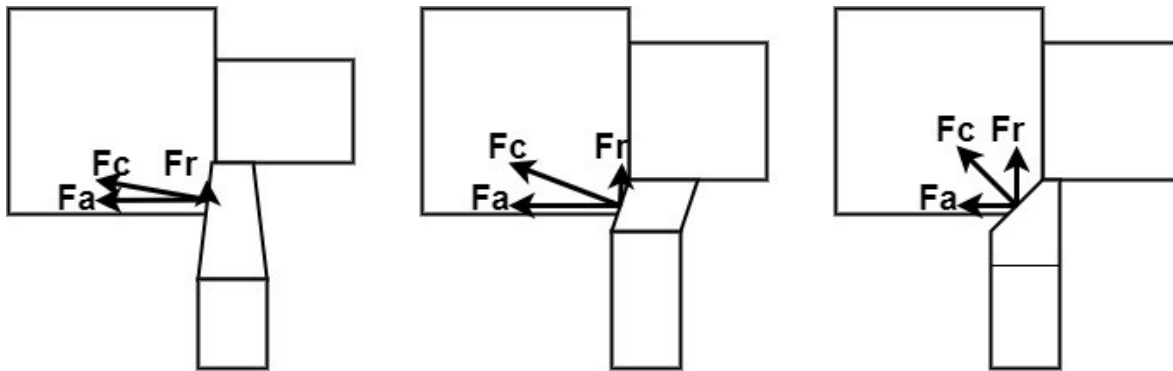


Figura 5. Influencia del ángulo de posición de la herramienta en las fuerzas radiales y axiales.

De la Figura 5 se puede ver que F_c es la fuerza normal que realiza la cara del filo, F_r y F_a son las componentes de esta fuerza, F_a es en la dirección de avance (axial) y F_r en la dirección radial.

1.3 Parámetros de corte de torneado

Antes de proceder con la automatización del equipo multipropósito se deben conocer cuáles son las variables que se deben controlar, los fundamentales a considerar son los siguientes:

c. Velocidad de corte

La velocidad de corte (V_c) es la velocidad relativa entre la superficie de corte de la herramienta y la superficie a mecanizar de la pieza de trabajo. En el torneado se define según la siguiente ecuación:

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{1000} \quad (1)$$

En donde:

- V_c , es la velocidad de corte expresada en (m/min).
- N , es la velocidad de rotación o giro de la pieza expresada en (rpm).
- D , es el diámetro de la pieza expresado en (mm).

d. Velocidad de avance de la herramienta

El avance o velocidad de avance (v_f) en el torneado es la velocidad relativa entre la pieza y la herramienta, es decir la velocidad con la que progresa el corte al recorrer longitudinalmente la herramienta sobre la superficie a mecanizar en un tiempo dado. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$v_f \left(\frac{mm}{min} \right) = N \cdot f \left(\frac{mm}{rev} \right) \quad (2)$$

En donde, f es el avance de la máquina herramienta y N , es la velocidad de rotación o giro de la pieza expresada en rpm.

e. Tiempo de torneado

Conocido también como tiempo entre virutaje (T), se obtiene mediante la siguiente relación:

$$t = \frac{L}{V_f} \quad (3)$$

En donde,

- t , es el tiempo de torneado medido en minutos (min).
- L , es la longitud de pasada que recorre la herramienta en el mecanizado medido en (mm).
- V_f es la velocidad de avance medida en $\left(\frac{mm}{min} \right)$.

f. Fuerzas de corte

La fuerza de corte (F_c) es un parámetro necesario para poder calcular la potencia necesaria para efectuar un determinado mecanizado. Existen dos formas de obtenerlo, según modelos geométricos como es el modelo de Merchant (modelo de corte ortogonal), en donde la

geometría de la herramienta de corte es fundamental, o modelos mecánicos en donde se encuentra una relación del tipo.

$$F_c = K_s * t_0 * w_0 \text{ (N)} \quad (4)$$

Donde:

F_c = fuerza de corte necesaria en el proceso de corte, entre pieza y herramienta. (N).

t_0 = espesor de la viruta o profundidad de corte, distancia de penetración de la herramienta en la pieza de trabajo (mm).

w_0 = anchura de la viruta, anchura de corte, en un torno este parámetro es dado por el avance de la herramienta (mm) o (mm/rev) (para tornos).

K_s = Fuerza de corte específica del material a mecanizar (N/mm²).

g. Potencia de corte

La potencia de corte es la energía por unidad de tiempo necesaria para realizar la operación de corte, se obtiene como el producto de la fuerza de corte por la velocidad de corte, siendo el trabajo que realiza esta fuerza en el proceso:

$$P_c = F_c * v \left(N \frac{mm}{min} \right) \quad (5)$$

O bien,

$$P_c = \frac{(K_s * t_0 * w_0) * v}{60 * 1000} \text{ (Kw)} \quad (6)$$

La potencia de corte real que se necesita viene dada por la eficiente de la maquina utilizada, un valor típico es de 90% [1, 3] obteniéndose:

$$P_r = P_c * n \text{ (Kw)} \quad (7)$$

Como es el caso de la conversión de un torno a un sistema CNC se tiene que la potencia del motor viene dada por lo que se está limitando a los otros parámetros como el avance y profundidad de corte para mecanizar ciertos materiales.

1.4 Materiales a Mecanizar:

De acuerdo al manual del operador, la máquina multipropósito puede trabajar metal, madera y plástico. Estos se estudian a continuación ya que influyen en las capacidades requeridas para la conversión.

1.4.1 Metales

Los metales son de los materiales más usados en ingeniería, su maquinabilidad, es decir su capacidad de ser mecanizados de una forma técnica y económica, depende de su composición, microestructura, y además de si son tratados térmicamente o no en algunos casos. La Figura 6 resume la clasificación de metales de acuerdo a la norma ISO 513: 2012 (R2018). [4]

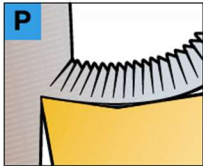
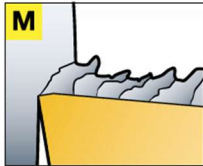
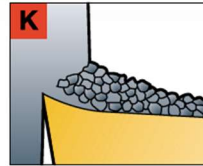
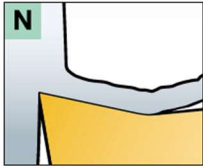
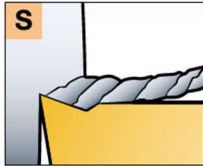
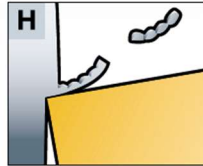
ISO P	Acero	ISO M	Acero inoxidable	ISO K	Fundición
					
ISO N	Aluminio	ISO S	Superalloys termorresistentes	ISO H	Material endurecido
					

Figura 6. Tipos de aceros según norma ISO para el mecanizado.

De estos materiales se tiene que las características de mecanizado son:

Propiedades de los Materiales NORMA ISO 513: 2012 (R2018):

Tabla 1. Propiedades de los tipos de aceros según norma ISO.

ISO P: • Material de viruta larga. • Control de la viruta relativamente fácil y uniforme. • El acero de bajo contenido en carbono es pastoso y requiere filos agudos. • Fuerza de corte específica :1500–3100 N/mm2. • La fuerza de corte y la potencia requerida para mecanizar materiales ISO P, permanecen dentro de un margen limitado.	ISO M: • Material de viruta larga. • El control de la viruta es regular en el ferrítico y llega a ser difícil en el austenítico y en el dúplex. • Fuerza de corte específica: 1800–2850 N/mm2. • El mecanizado genera elevadas fuerzas de corte, filo de aportación y superficies con endurecimiento térmico y mecánico.	ISO K: a. Material de viruta corta. b. Buen control de la viruta en todas las condiciones. c. Fuerza de corte específica: 790–1350 N/mm2. d. El mecanizado a alta velocidad genera desgaste por abrasión. e. Fuerzas de corte moderadas.
ISO N: • Material de viruta larga. • Control de la viruta relativamente fácil, si está aleado. • El aluminio (Al) es pastoso y requiere filos agudos. • Fuerza de corte específica: 350–1350 N/mm2. • La fuerza de corte y la potencia requerida para mecanizar materiales ISO N permanecen dentro de un margen limitado.	ISO S: • Material de viruta larga. • Control de la viruta difícil (viruta segmentada). • Se requiere un ángulo de desprendimiento negativo si se utiliza cerámica y positivo si se utiliza metal duro. • Fuerza de corte específica: 2400–3100 N/mm2 para HRSA y 1300–1400 N/mm2 para titanio. • Las fuerzas de corte y la potencia requerida son bastante elevadas.	ISO H: • Material de viruta larga. • Control de la viruta regular. • Se requiere un ángulo de desprendimiento negativo. • Fuerza de corte específica: 2550–4870 N/mm2. • Las fuerzas de corte y la potencia requerida son bastante elevadas.

Existe otra división de tipo de metales que se refiere a los que no son abarcados en la norma ISO 513:2012 [5].

1.4.2 Plásticos

Los plásticos son polímeros de los cuales se pueden obtener diferentes propiedades, se identifican tres tipos principales de acuerdo a su estructura molecular: los primeros son los termoplásticos que tienen una estructura de cadena de tipo lineal y ramificada, estos se caracterizan por su capacidad de cambiar de estado líquido a sólido reversiblemente, aunque deteriorando sus propiedades físicas en gradualmente; los segundos son los termoestables que forman enlaces en todas las direcciones formando una estructura reticulada, se caracterizan por una buena rigidez del material y a su incapacidad de volver a la misma estructura una vez cambia de estado; y los terceros son los elastómeros que forman una estructura reticulada similar a la de los termoestables pero más separada que les da capacidad elástica, ósea el volver a su forma original luego de una deformación mecánica elástica. [6]

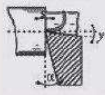
Los procesos de conformado (inyección, extrusión, etc.) de este material proporcionan piezas casi terminadas, pero por distintas razones ya sean técnicas, o por su dificultad de conformado se opta por el mecanizado, el cual presenta los siguientes problemas al compararlo con otros materiales como los aceros:

Desgarre: es la formación de grandes grietas en el material, puede evitarse mecanizando a altas velocidades de corte y evitando los radios muy pequeños.

Calentamiento de la pieza: los plásticos en general presentan una baja conductividad térmica, por lo que el calor generado en el mecanizado se lo lleva en mayor parte la herramienta, esto puede ocasionar que la pieza se derrita y se formen grumos sobre la herramienta y con ello no logrando la geometría deseada en las piezas. Los plásticos termoestables pueden llegar a descomponerse frente a un calor excesivo, y los termoplásticos llegan a deformarse por fusión. Este problema puede evitarse al usar refrigeración por aire, que además de disminuir el calentamiento de la pieza ayuda a remover las virutas, también se aconseja mecanizar a bajos avances y utilizar herramientas resistentes al calor.

A continuación, en la Tabla 2 se presenta una tabla de recomendación para los distintos plásticos mecanizables, dada en el catálogo de Plastigen:

Tabla 2. Recomendaciones de mecanizado de acuerdo al catálogo de Plastigen para distintos tipos de plásticos mecanizables. [7]

MECANIZADO			TECHNYL	ERTACETAL	ERTALYTE TX	ROBALÓN PP	TEFLÓN	POLIURETANO
 TORNEADO	Ángulo de incidencia	°	5-10	5-10	5-10	10-15	5-12	10-15
	Ángulo de virutas	°	5-10	5-10	5-10	5-10	5-10	15-25
	Avance	mm/t	>1,1-0,3	0,1-0,4	0,1-0,4	0,2-0,5	0,1-0,3	0,1-0,3
	Velocidad de corte	m/mín	>200	>300	>300	>250	>150	-150
 FRESADO	Ángulo de incidencia	°	10-20	5-15	5-15	5-15	10-20	10-30
	Ángulo de virutas	°	5-15	5-15	5-15	5-15	5-16	5-20
	Avance	mm/t	>0,03	>0,02	>0,02	>0,05	>0,03	>0,05
	Velocidad de corte	m/mín	<1000	<1000	<1000	<1000	<800	<30
 ASERRADO	Ángulo de incidencia	°	20-30	20-30	20-30	15-30	20-30	20-40
	Ángulo de virutas	°	2-5	0-5	0-5	5-8	5-8	5-10
	Pitch	mm/t	3-8	2-5	2-5	3-10	5-8	5-10
	Velocidad de corte	m/mín	>500	>1000	>1000	-1000	>300	-200
	Sierra circular	m/mín	-3000	-3000	-3000	-	-2500	-2000
 TALADRADO	Ángulo de incidencia	°	5-15	5-10	5-10	10-15	10-16	5-10
	Ángulo de virutas	°	10-20	15-30	15-30	10-30	5-20	20-30
	Ángulo de la punta	°	60-115	60-90	60-90	60-90	110-130	>90
	Avance	mm/t	0,1-0,3	0,1-0,3	0,1-0,3	0,2-0,5	0,1-0,3	0,2-0,4
	Velocidad de corte	m/mín	50-150	50-200	100-150	100-200	150-300	20-60

1.4.3 Maderas

Las maderas están compuestas por fibras las cuales tienen directa influencia en el mecanizado ya que, dependiendo si se está cortando o no en la dirección de la fibra se produce un corte limpio o la creación de superficies no deseadas, por lo que al momento de mecanizar madera se debe tener presente tanto la dirección del mecanizado como la disposición de la fibra en el material.

Existen también productos derivados de la madera, entre estos se encuentran los aglomerados, los cuales están compuestos por partículas de madera de diferentes tamaños, unidas entre sí por algún tipo de resina, cola (pegamento) u otro material, que posteriormente es prensado a temperatura y presión controlada formando un tablero u otras formas.

Los aglomerados se pueden clasificar de acuerdo a su densidad, aquellos que tienen una densidad inferior a 300 (kg/mm^3) son considerados de baja densidad, de 300 a 800

(kg/mm^3) son de media densidad y los que superan los 800 (kg/mm^3) son de alta densidad [8]. Esto debe tenerse presente al momento de mecanizar ya que un aglomerado de baja densidad puede romperse si la profundidad y avance de la herramienta son muy grandes en relación a la resistencia del aglomerado no logrando la geometría deseada.

Un ejemplo de los aglomerados es el MDF (Medium Density Fibreboard) o fibra de densidad media, el cual está compuesto de aproximadamente un 85% de fibras de madera de tamaño reducido, siendo el resto resinas y otros compuestos que pueden otorgarle otras propiedades como la impermeabilidad o evitar el crecimiento de moho. El MDF presenta las siguientes ventajas y desventajas [9]:

Tabla 3. Características mecánicas del MDF.

Ventajas	Desventajas
Fácil mecanizado al estar compuesto de prácticamente polvo de madera.	Poca resistencia al agua pese a su conformado impermeable.
Reducido precio en comparación a madera maciza. Pero más alto en relación a otros aglomerados.	El polvo resultante de su mecanizado es dañino debido a los componente aglomerantes.
Buena resistencia a la torsión.	Pesado en relación a los aglomerados y los contrachapados.
Estables a los cambios de temperatura.	En tableros malas resistencia y propiedades en general en los cantos y esquinas.

Para los distintos materiales a mecanizar se debe seleccionar la herramienta adecuada y los parámetros de mecanizado correspondientes al trabajo que se quiere realizar.

Habitualmente los fabricantes de herramientas de corte proporcionan los parámetros de mecanizado necesarios para sus herramientas en base al material que se quiere mecanizar.

También es importante considerar la naturaleza del material a mecanizar y las condiciones de trabajo en que se realizaran las operaciones.

1.5 Control Numérico Computarizado (CNC)

El control numérico es una forma de automatización programable en la cual un programa que contiene datos alfanuméricos codificados controla las acciones de una parte del equipo. Los datos representan posiciones relativas entre una cabeza de trabajo y una pieza de trabajo.

El control numérico por computadora (CNC) es un sistema en el que una microcomputadora de control es parte integral de una máquina. El operador de la máquina puede programar las computadoras integradas, modificar los programas en forma directa, prepararlos para diferentes piezas y almacenarlos.

Los componentes de un sistema de control numérico por computadora son:

- Programa de piezas: Conjunto de comandos que va a seguir el equipo de procesamiento. Cada comando especifica una posición o movimiento que realizará la cabeza de trabajo.
- Unidad de control de máquina (MCU en inglés): Es una microcomputadora que almacena el programa y lo ejecuta, convirtiendo cada comando en acciones mediante el equipo de procesamiento.

Equipo de procesamiento: Es la máquina correspondiente que realiza una secuencia de pasos para transformar la pieza de trabajo inicial en una pieza terminada. [10]

1.5.1 Sistema de coordenadas y control de movimientos

Para especificar las posiciones se usa un sistema de ejes de coordenadas estándar, el sistema consiste en los tres ejes lineales (x, y, z) del sistema de coordenadas cartesianas.

Los sistemas de control de movimiento basados en CNC se dividen en dos tipos:

- Sistemas de punto a punto: mueven la cabeza de trabajo a una posición programada, sin considerar la trayectoria que recorren para llegar a tal lugar.
- Sistemas de trayectoria continua: proporcionan un dominio continuo y simultáneo de más de un eje, por lo que controlan la trayectoria que sigue la herramienta en relación con la pieza.

Otro aspecto del control del movimiento se refiere a las posiciones en el sistema de coordenadas, las cuales se definen en forma absoluta o incremental.

- Posicionamiento absoluto: las posiciones de la cabeza de trabajo siempre se definen respecto al origen del sistema de coordenadas.
- Posicionamiento incremental: la siguiente disposición de la cabeza de trabajo se define de acuerdo con la posición actual. [11]

1.5.2 Sistemas de posicionamiento

La función del sistema de posicionamiento es convertir las coordenadas que se especifican en el programa de piezas del CNC en posiciones relativas entre la herramienta y la pieza de trabajo durante el procesamiento.

a. Sistema de posicionamiento de ciclo abierto

Un sistema de posicionamiento de ciclo abierto, es un sistema de control que funciona sin verificar la posición de la mesa de trabajo. Es menos costoso que el ciclo cerrado y son convenientes donde la fuerza que resiste el movimiento de funcionamiento es mínima.

En el control numérico se controla un motor de engranes (paso a paso) mediante una serie de pulsos eléctricos que genera la unidad de control de máquina (computadora).

Cada pulso provoca que el motor gire una fracción de una revolución, llamada ángulo de paso:

$$\alpha = \frac{360}{n_s} \quad (8)$$

En donde,

- α , es el ángulo de paso, medido en grados.
- n_s , es la cantidad de ángulos de paso para el motor.

El ángulo a través del cual rota el tornillo guía, suponiendo una relación 1:1 entre engranes del motor y el tornillo guía, está dado por:

$$A = \alpha \cdot n_p \quad (9)$$

En donde,

- A , es el ángulo de rotación del tornillo guía, medido en grados.
- n_p , es la cantidad de pulsos que recibe el motor.

El movimiento resultante de la mesa como respuesta a la rotación del tornillo guía se determina a partir de:

$$x = \frac{p \cdot A}{360} \quad (10)$$

En donde,

- x , es la posición del eje x en relación con la posición inicial, medido en (mm).
- p , es el paso del tornillo guía, medido en (mm/rev).
- $A/360$, es la cantidad de revoluciones del tornillo guía.

Por otro lado, si se quiere obtener un incremento especificado de la posición x en un sistema punto a punto, puede encontrarse mediante un reordenamiento de (6) y (7):

$$n_p = \frac{360x}{p\alpha} \quad (11)$$

En donde n_p representa a la cantidad de pulsos necesarios para obtener el incremento.

La velocidad de rotación del tornillo guía depende de la frecuencia del tren de pulsos:

$$N = \frac{60f_p}{n_s} \quad (12)$$

En donde,

N , es la velocidad de rotación del tornillo, medido en rpm (rev/min).

f_p , es la frecuencia del tren de pulsos, medida en Hz (pulsos/s).

La velocidad de viaje en la mesa, en la dirección del eje del tornillo guía, se determina mediante la velocidad de rotación del siguiente modo:

$$v_t = N \cdot p \quad (13)$$

En donde,

v_t , es la velocidad de viaje de la mesa, medida en (mm/min).

Por otro lado, si se quiere controlar la mesa a una velocidad de alimentación v_t especificada se obtiene mediante una combinación de las ecuaciones (9) y (10):

$$f_p = \frac{v_t \cdot n_s}{60p} \quad (14)$$

En donde f_p representa la frecuencia requerida del tren de pulsos para controlar la velocidad de la mesa de trabajo.

b. Sistema de posicionamiento de ciclo cerrado

Un sistema de posicionamiento de ciclo cerrado usa una medición retroalimentada para verificar que la posición de la mesa de trabajo sea en verdad la que se está especificando en el programa dispuesto por el usuario. Estos sistemas generalmente se especifican para máquinas herramienta que ejecutan operaciones de trayectoria continua, como fresado o torneado, en los cuales las fuerzas de resistencia pueden ser significativas.

Estos sistemas usan servomotores y mediciones de retroalimentación para asegurar que se obtiene la posición deseada. Un sensor de retroalimentación común es el codificador óptico, que se ilustra en la Figura 7. Consiste en una fuente de luz, un fotodetector y un disco que contiene una serie de ranuras para activar el fotodetector. Si se cuentan los pulsos y se calcula la frecuencia del tren de pulsos, puede determinarse la posición y la velocidad de la mesa de trabajo.

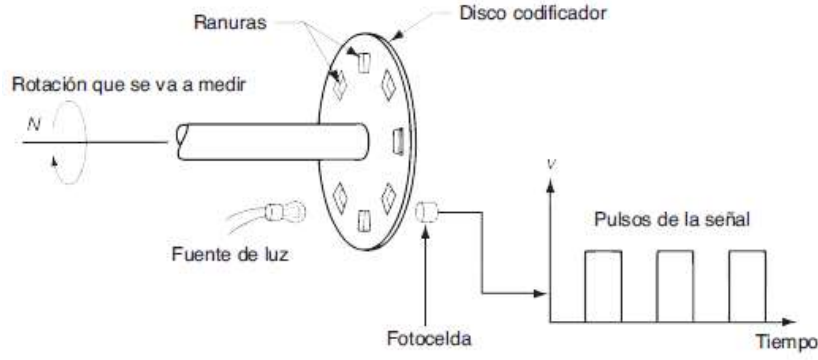


Figura 7. codificador óptico.

Las ecuaciones que rigen el movimiento del servomotor, tornillo guía y mesa de trabajo son las mismas que para el ciclo abierto, a diferencia que en este sistema además hay que comprobar mediante el codificador óptico la posición y velocidad.

Para una cierta rotación angular del tornillo guía, el codificador detecta una cantidad de pulsos que está dada por:

$$n_p = \frac{A}{\alpha} \quad (15)$$

En donde n_p es una cuenta de pulsos. El conteo de pulsos puede usarse para determinar la posición lineal del eje x de la mesa de trabajo, por lo tanto:

$$x = \frac{p \cdot n_p}{n_s} \quad (16)$$

De manera similar, la velocidad de alimentación a la cual se mueve la mesa de trabajo se obtiene a partir de la frecuencia del tren de pulsos:

$$v_t = \frac{60p f_p}{n_s} \quad (17)$$

En donde el tren de pulsos f_p es generado por el codificador, así se puede comparar la posición de coordenadas y la velocidad de alimentación especificadas en el programa de piezas. [12]

1.5.3 Precisión en el posicionamiento

Tres medidas de precisión críticas en el posicionamiento son la resolución de control, la exactitud y la capacidad de repetición.

a. Repetitividad

La repetitividad hace referencia a la capacidad que posee un sistema de posicionamiento para regresar a un punto de control determinado que se ha programado antes. Esta capacidad se mide en términos de los errores de posición encontrados cuando el sistema intenta colocarse en un punto de control.

Los errores de posición son una manifestación de los errores mecánicos del sistema de posicionamiento, los cuales se definen mediante una distribución normal supuesta. La repetitividad de cualquier eje de un sistema de posicionamiento se define como el rango de errores mecánicos asociados con el eje; esto se expresa:

$$\text{Repetibilidad} = \pm 3\sigma \quad (18)$$

En donde,

- σ , es la desviación estándar de la distribución de error, medida en (mm).

b. Exactitud

La exactitud se define en el peor de los escenarios, en el cual el punto objetivo se encuentra exactamente entre dos puntos de control adyacentes. Como el sistema sólo puede moverse a uno u otro de los puntos de control, habrá un error en la posición final de la mesa de trabajo.

La exactitud, de cualquier eje en un sistema de posicionamiento es el máximo error posible que puede ocurrir entre el punto objetivo deseado y la posición real que toma el sistema; expresado en forma de ecuación:

$$\text{Exactitud} = 0.5CR + 3\sigma \quad (19)$$

c. Resolución

La resolución de control se refiere a la capacidad del sistema para dividir el rango total del movimiento del eje en puntos estrechamente espaciados que puedan ser distinguidos por la unidad de control.

Se define como la distancia que separa dos puntos de control adyacentes en el movimiento del eje. Es deseable que la resolución de control sea la más pequeña posible, lo cual depende de los componentes electromecánicos del sistema de posicionamiento y/o la cantidad de bits que usa el controlador.

La resolución de control de los componentes electromecánicos (CR_1) viene dada por:

$$CR_1 = \frac{p}{n_s} \quad (20)$$

La resolución de control del sistema de control de la computadora (CR_2) viene dada por:

$$CR_2 = \frac{L}{2^B - 1} \quad (21)$$

En donde,

- L , es el rango del eje medido en (mm).
- B , es el número de bits en el registro de almacenamiento para el eje.
- 2^B , es el número de puntos de control entre los que puede dividirse el rango del eje.

La resolución del control del sistema de posicionamiento es el máximo de los dos valores, esto es:

$$CR = \text{Máx}(CR_1, CR_2) \quad (22)$$

Por lo general, resulta conveniente que $CR_2 \leq CR_1$, lo que significa que el sistema electromecánico es el factor limitante en la resolución de control. [13].

d. Retroceso

Los sistemas de control numérico experimentan retroceso, este es la pérdida de precisión de la posición del sistema de control en su funcionamiento. En máquinas de mecanizado de torneado se refiere a la incertidumbre en la posición de la herramienta de corte debido a la holgura existente entre los componentes mecánicos de movimiento, teniendo como consecuencia malas dimensiones en la pieza final. Sus principales causas son la pérdida de pasos en el motor, las holguras presentes en los mecanismos de transmisión de potencia, el ruido electrónico que puede retrasar la llegada de información a los controladores de los motores y errores en el software de control de la máquina.

1.5.4 Programación del control numérico

El programa de control numérico consta de una secuencia de direcciones que hace que una máquina realice cierta operación, siendo el maquinado el proceso más común. El programa contiene instrucciones y comandos.

Las instrucciones geométricas corresponden a movimientos relativos entre la herramienta y la pieza de trabajo. Las instrucciones de procesamiento tienen que ver con las velocidades del husillo, avances, herramientas de corte y otros. Las instrucciones de avances corresponden al tipo de interpolación y a la velocidad de movimiento.

a. Códigos G&M

La programación del control numérico computarizado (CNC) se da por medio de un lenguaje G&M, el cual consta de una programación vectorial que permite acciones simples. Se le llama G&M por el hecho de que el sistema de lenguaje está comprendido de instrucciones Generales y Misceláneas, en donde los códigos G son los que permiten el movimiento de la herramienta de corte y los códigos M son los que controlan diferentes parámetros de la máquina como la velocidad de avance, la velocidad de rotación del husillo y el encendido o

apagado de diferentes dispositivos. Estos códigos en conjunto permiten realizar de una manera fácil y rápida operaciones específicas en la fabricación de una pieza. [14]

En la tabla 4 se encuentra los códigos G generales para la programación de un torno.

Tabla 4: Códigos G.

Código	Descripción.
G0	Posicionamiento rápido.
G1	Interpolación lineal.
G2	Interpolación circular sentido horario.
G3	Interpolación circular sentido antihorario.
G4	Pausa programada.
G10	Ajuste de valor de desplazamiento del programa.
G20	Trabajo con unidades inglesas (pulgadas).
G21	Trabajo con unidades métricas (mm).
G28	Regreso a punto 0 de la máquina.
G32	Máquinar una rosca de una pasada.
G36	Compensación automática de de herramienta en eje X.
G37	Compensación automática de de herramienta en eje Z.
G40	Cancelar compensación de radio de curvatura de la herramienta.
G41	Compensación de radio de curvatura de la herramienta a la izquierda.
G42	Compensación de radio de curvatura de la herramienta a la derecha.
G70	Ciclo de acabado.
G71	Ciclo de maquinado en cilindrado.
G73	Repetición en patrón.
G76	Maquinar una rosca en varias pasadas.
G96	Comienzo de desbaste a velocidad tangencial constante.
G97	Fin de desbaste a velocidad tangencial constante.
G98	Velocidad de alimentación (unidades/min).
G99	Velocidad de alimentación (unidades/revolución).

En la tabla 5 los códigos M generales para la programación de un torno.

Tabla 5: Códigos M.

Código	Descripción
M00	Paro del programa.
M01	Para opción del programa.
M02	Restablecer programa.
M03	Girar husillo en sentido horario.
M04	Girar husillo en sentido antihorario.
M05	Detener husillo.
M06	Cambio programado de herramienta.
M08	Activar refrigerante.
M09	Detener refrigerante.
M10	Abrir mordazas.
M11	Cerrar mordazas.
M30	Fin del programa.
M31	Incrementar contador de partes.
M37	Frenar el husillo y abrir la puerta.
M38	Abrir la puerta.
M39	Cerra la puerta.
M40	Extender el alimentador de piezas.
M41	Retraer el alimentador de piezas.
M48	Maquinar solo con velocidades programadas.
M49	Cancelar velocidades programadas.
M98	Llamado a subprograma.
M99	Retorno a subprograma.

b. Sistemas CAD/CAM

El uso de estos sistemas lleva a la programación de piezas asistida por computadora un paso adelante, usando un sistema gráfico de diseño y manufactura asistidos por computadora (CAD/CAM) que interactúa con el programador conforme se prepara el programa de piezas.

Cuando se usa este tipo de programa, el programador recibe una verificación visual inmediata conforme introduce cada enunciado para determinar si es correcto. Conforme el programador diseña la trayectoria de una herramienta, ve exactamente como desplazarán los comandos de movimiento a la herramienta, en relación con la pieza. Los errores se corrigen de inmediato y no después de escribir el programa completo, ahorrando un tiempo valioso para el operador.

[15]

CAPÍTULO 2: INGENIERÍA INVERSA, REDISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES.

En este capítulo se describen los resultados de la ingeniería inversa, el rediseño propuesto y la selección de los distintos componentes a incorporar para la conversión de la operación de torneado de la máquina multipropósito.

El método de selección se dividirá en dos partes la primera es la descripción del producto actual y su disección y posteriormente se realiza una propuesta de rediseño que considera la búsqueda de alternativas a los componentes disponibles que permitirán la conversión del torno multipropósito de manual a semiautomático. La segunda parte corresponde a la selección de detalle, que considera las restricciones y objetivos a alcanzar con la conversión.

2.1 Ingeniería inversa, Diagnóstico:

El equipo multipropósito actual corresponde a una combinación de torno, taladro y fresadora, para identificar los componentes de la máquina que realizan las funciones actuales a modificar y realizar una conversión a control numérico, se propone una disección de producto de acuerdo a Dieter [16], los pasos y preguntas a responder para lograr la definición de la máquina mediante ingeniería inversa son:

1. Descubrir todos los parámetros operacionales. ¿Qué es lo que el producto hace?, y ¿Qué condiciones deben cumplirse para que pueda cumplir su función?

El equipo a convertir cumple con las funciones de ser taladro, fresadora y torno.

Función de torneado: su operación consiste en montar un material de trabajo en un cabezal fijo y una herramienta de corte en una torreta que es manipulada por carros en movimiento axial y radial al giro de este material.

Función de taladro/ Fresadora: su operación consiste en montar el material de trabajo en una prensa ubicada sobre el carro principal, la herramienta de corte es montada en un cabezal que gira por la acción de un motor eléctrico.

Para que el equipo pueda realizar sus funciones es necesario que esté conectado a una red de 220V, sus partes mecánicas deben estar lubricadas, y se requiere de un operario que se encargue de montar el material y la herramienta de trabajo y que además manipule los movimientos de los carros principal, carro transversal, y la contrapunta.

Un torno de control numérico interpreta y ejecuta las ordenes de un programa de piezas que contiene los pasos a seguir para mecanizar una geometría deseada. Para que esto ocurra se debe contar con un sistema de control.

2. Examinar como el producto desarrolla sus funciones. ¿Qué sistemas de control mecánicos, eléctricos u otros dispositivos son necesarios para cumplir las funciones deseadas?, ¿Cuáles son los flujos de potencia y fuerza que van por el producto?, ¿Cuáles son las restricciones espaciales para los subconjuntos y componentes?

La máquina cuenta con dos tipos de controles:

- Control de RPM: se ajustan las revoluciones por minuto del husillo del cabezal fijo para el mecanizado de distintos materiales y proceso, el operario es el encargado de configurar.
- Control de movimiento: control mecánico que funciona en base a relaciones de transmisión de movimiento por distintos componentes como poleas y trenes de engranajes. Sirve para ajustar las velocidades de avance de la herramienta de corte para torneado, esto es configurado por el operario de manera manual antes de iniciar el mecanizado.

Función de fresadora/taladro: esta función utiliza los movimientos de los carros principal y transversal como mesa de fresado, en esta función estos se encargan de mover el material de trabajo mientras que la herramienta de corte es la que gira en un pedestal fijo, donde sus

revoluciones por minuto son configuradas desde un motor eléctrico similar al del torno, con sus propias poleas y correas en V para las relaciones de transmisión.

El flujo de energía de la máquina empieza en la red la cual llegue al motor del cabezal fijo, que hace girar el material de trabajo o herramienta de trabajo. De ser necesario también desde el motor se transfiere la potencia a los movimientos de los carros principal y transversal.

3. Determinar las relaciones entre partes del producto. ¿Cuál es la arquitectura del producto?, ¿Cuáles son los mayores subconjuntos?, ¿Cuáles son los componentes claves en las interacciones de los subconjuntos?

Mayores subconjuntos:

- Sujeción de pieza: cabezal fijo, contrapunta.
- Control de RPM: compuesto por el motor, poleas y correa en V que permiten cambiar las velocidades de giro del material de trabajo.
- Control de movimiento: tornillos motrices, tuercas motrices, tren de engranajes. El control de movimiento consiste en transmitir parte de la potencia del motor del husillo a los carros principal y transversal, esto se logra mediante un tren de engranajes que mueven primero el tornillo motriz del carro principal y luego mediante palancas se acciona el mecanismo que permite el movimiento del carro principal y la transmisión al tornillo motriz de carro transversal.
- Carro principal: tornillo motriz, tuerca motriz, descansos guías líneas y bancada.
- Carro transversal: tornillo motriz, tuerca motriz, descansos y guías lineales de cola de milano.
- Mecanismo piñón-cremallera: segundo sistema de operación manual del carro principal.

Componentes clave de interacción entre conjuntos:

Correa en V, Tornillos motrices, tren de engranajes, tornillos motrices, rueda dentada y cremallera.

4. Determinar los procesos de manufactura y ensamblaje usados para producir el producto. ¿De qué material y por cual proceso fue fabricado cada

componente?, ¿Cuáles son los procesos de unión de subconjuntos clave?,
¿Qué tipo de sujetadores son usados y en qué lugar están ubicados?

Los procesos de unión entre los distintos subconjuntos de la máquina se hacen mediante pernos para los componentes fijos y guías lineales para los componentes móviles, estas últimas tienen holguras que permiten la lubricación y buen funcionamiento de la máquina permitiendo el movimiento de los subconjuntos.

A continuación, se muestran las especificaciones técnicas de la máquina a convertir:

2.1.1 Máquina multipropósito GRÜNDER HQ-500

El torno GRÜNDER HQ-500 es un equipo multipropósito ideal para mecanizar pequeñas piezas. Esta máquina se caracteriza por ser liviana, económica, de fácil mantenimiento y de construcción compacta, esto último favorece una operación fácil y con amplios rangos de velocidades, previa configuración de la máquina y sistema de transmisión. La alimentación de la mesa de trabajo puede controlarse de forma semiautomática o manualmente en dos ejes de movimiento, mientras que el cabezal encargado del fresado y taladrado puede ser girado en 180°. Cuenta con dos motores para cada operación, torneado y fresado respectivamente. Una fotografía del torno se muestra en la Figura 8.



Figura 8. Fotografía de la máquina multipropósito HQ500.

Las especificaciones técnicas de trabajo se muestran a continuación:

Tabla 4. Especificaciones para realizar operaciones de torneado.

Especificaciones para Torneado HQ 500	
Distancia entre centros	500 mm
Volteo sobre bancada	420 mm
Máxima carrera longitudinal	440 mm
Máxima carrera transversal	200 mm
Cono de husillo	M.T.4
Carrera de contrapunta	70 mm
Cono de contrapunta	M.T.3
Diámetro del agujero del husillo	28 mm
Velocidad de husillo	160 – 1340 rpm (7 etapas)
Paso del tornillo guía	6 T.P.I o 4 mm
Hilo que puede ser cortado	4 - 120 T.P.I / 0.2 – 6 mm

Rango de automático longitudinal y transversal	0.002 – 0.014 in / 0.05 – 0.35 mm
--	-----------------------------------

Tabla 5. Especificaciones para realizar operaciones de fresado y taladrado.

Especificaciones para Fresado y Taladrado HQ 500	
Cono de husillo	M.T.3
Carrera del husillo	110 mm
Máxima distancia entre el centro del husillo a la columna.	440 mm
Máxima distancia entre la nariz y la mesa	306 mm
Velocidad de husillo	120 – 3000 rpm (16 etapas)
Tamaño de mesa	475 x 160 mm
Capacidad de taladrado	22 mm
Capacidad de fresado final	28 mm
Capacidad de fresado frontal	80 mm

Tabla 6. Especificaciones generales de la máquina.

Especificaciones generales HQ 500	
Potencia del motor	0,5 KW
Voltaje / Frecuencia	a necesidad del cliente
Peso neto	245 Kg
Peso bruto	275 Kg
Dimensiones generales	1460 x 580 x 965 mm
Dimensiones de empaque	1430 x 580 x 1100 mm

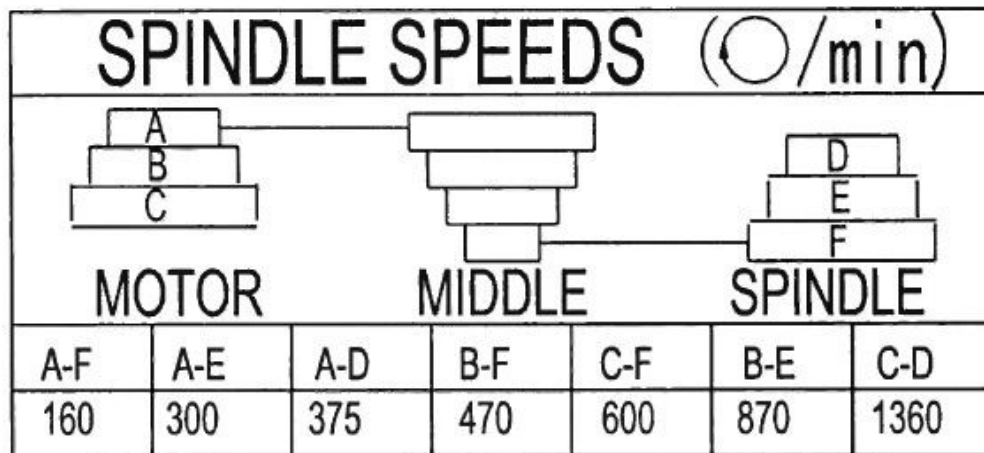


Figura 9. Revoluciones por minuto (RPM) del cabezal de torno para las distintas configuraciones de las correas de transmisión, imagen obtenida del manual del usuario.

	mm	A	24	30	36	42
		I	0.2	0.25	0.30	0.35
		II	0.1	0.125	0.15	0.175
	inch	III	0.05	0.063	0.075	0.088
		I	0.008	0.010	0.012	0.014
		II	0.004	0.005	0.006	0.007
		III	0.002	0.025	0.003	0.0035

Figura 10. Configuración para el avance por revolución automático de la máquina.

Al momento de realizar la conversión de la operación de torneado se debe tener presente que las modificaciones que se realicen no interfieran con la operación de fresadora ni taladrado.

2.2 Propuesta para rediseño

2.2.1 Definición del problema inicial

De la sección 1.5 se tiene que una máquina de control numérico se compone de tres subconjuntos, el programa de piezas, la unidad de control y el equipo de procesamiento, estos deben estar presentes en la máquina final al realizar la conversión.

En la máquina actualmente ya se cuenta con un equipo de posicionamiento compuesto por los carros principal y transversal, por lo que faltaría incluir los componentes necesarios de una unidad de control y un programa de piezas, para esto se plantean los siguientes objetivos a alcanzar en la conversión:

1. Seguridad en operario y máquina en el funcionamiento de la máquina final.
2. Fácil operación de la máquina.
3. Facilidad de reemplazo de componentes.
4. Conservar o mejorar dentro de lo posible las capacidades técnicas de la máquina, de esto se plantea:
 - Poder cortar metal, madera y plásticos.
 - Rango revoluciones por minuto: 160 – 1340 (rpm) o más.
 - Amplio rango de avance en ambos carros de movimiento: se consideran como mínimo los parámetros originales de la máquina que son 0,05 – 0,35 (mm/rev) que usando las revoluciones por minuto actuales el rango queda en: 8 – 469 (mm/min). Esto para poder mecanizar madera y acero cuyos rangos de operación son extremos opuestos, para la madera se requieren altos avances y para el acero se requieren bajos.
 - Dimensiones de piezas a realizar similar a la actual de la máquina.

Para esto se propone conservar el sistema de giro del material de trabajo y automatizar el movimiento de los carros principal y transversal.

A continuación, se muestra la lista de componentes a incorporar con sus posibles alternativas centrándose en contestar las siguientes preguntas, ¿Qué es el componente?, ¿Qué tipos existen?, ¿Qué aspectos importantes hay en su funcionamiento y operación?, ¿Qué es importante al momento de seleccionar uno?

2.2.2 Lista de componentes

1. Equipo de procesamiento:

a. Motores: estos componentes son los encargados de ejecutar las ordenes entregadas en el control numérico, estos entregaran la potencia a los carros principal y transversal. Entre las opciones de motores a usar están:

- a. Motores paso a paso.
- b. Servomotores (Anexo A.1).

Al momento de seleccionar un tipo de motor para la conversión se tiene que tener presente el torque que puede ofrecer en operación, el tamaño del motor, y el tipo de control que se quiere aplicar en la máquina, es decir si es de lazo abierto o lazo cerrado:

b. Sistema de transmisión de movimiento: Este componente es el encargado de convertir el torque entregado por el eje del motor en fuerza lineal para el desplazamiento de los carros y el mecanizado, y de transmitir la potencia del mismo, estos componentes se identifican por la relación de transmisión de movimiento. En la maquina actual se cuenta con un husillo de rosca trapecial para el movimiento de los carros principal y transversal. Las alternativas encontradas son:

- a. Husillo de bolas rodantes.
- b. Husillo de rosca de potencia.
- c. Rueda dentada cremallera (Anexo A.2).

Al momento de seleccionar un sistema de transmisión es importante tener presente la capacidad de la máquina que tiene a ser modificada, es decir el espacio que se tiene disponible y los mecanismos ya existentes que posee, la relación de avance por giro de accionamiento, y la ventaja mecánica que se tiene (el aumento o disminución de fuerza que presenta el sistema).

2. Unidad de control:

a. Placa controladora: este componente se encarga de convertir la información recibida por el computador en pulsos los cuales son enviados a los controladores de los motores., además permiten la comunicación de la máquina con el usuario mediante un software compatible.

a. Placas de puerto paralelo.

b. Placas de puerto USB. (Anexo A.3)

Al momento de seleccionar una placa se debe tener presente la cantidad de ejes que se quiere controlar, el software con el que tienen compatibilidad, la cantidad de pulsos por segundo que puede entregar (procesamiento), y si requiere de una fuente de poder externa para su funcionamiento.

b. Controladores de los motores: este componente se encarga de enviar la energía y pulsos necesarios al motor al recibir las ordenes de la placa controladora. Los controladores alimentan al motor de voltaje y corriente por lo que requieren estar conectados a una fuente de poder externa. Estos tienen dos secciones de configuración, la primera corresponde a la corriente máxima que entregara a los motores y la segunda corresponde a los pulsos por revolución que entregara, también llamado resolución para los micro pasos.

a. Controladores de rangos definidos.

b. Controladores analógicos. (Anexo A.4)

c. computador: Este componente es el encargado de dar soporte a los programas necesarios para la operación y permitir el interfaz usuario máquina. Para seleccionar un computador se considera el software que soporta, Windows, Mac, Linux, etc. El tipo de puertos con el que cuenta, puerto USB o paralelo. La capacidad que tiene para manejar los softwares necesarios para controlar la máquina como lo son los softwares CAD (diseño asistido por computador) y CAM (manufactura asistida por computador).

d. Finales de carrera: estos son interruptores los cuales al ser accionados detienen el movimiento de los carros, su funcionamiento puede ser el de un interruptor normalmente

abierto o de uno normalmente cerrado dependiendo de la conexión que se haga. Se pueden clasificar de acuerdo a su tipo de accionamiento, y a la fuente de alimentación con la que trabajan.

a. Al ser un componente de fácil acceso y barato no se presentan las variedades al seleccionarse un accionamiento mecánico de contacto.

Al momento de seleccionar uno se deben considerar el tipo de accionamiento que tendrá en funcionamiento, el voltaje y corriente de trabajo, y el tipo de montaje en máquina que tienen.

e. Fuentes de poder: este componente se encarga de transformar la energía de la red a una útil para el sistema de control numérico. De entre las opciones encontradas para cumplir este propósito se tienen:

a. Transformador de voltaje fijo.

b. Fuente de poder regulable.

c. Fuente de poder de voltaje fijo. (Anexo A.5)

Al momento de seleccionar una fuente de poder se tiene que tener presente el tipo de red al que se puede conectar, el voltaje de salida que entregan y la corriente máxima que se le puede exigir, para el funcionamiento que se les dará. El tipo de refrigeración con el que cuentan, y las dimensiones físicas que tienen.

f. Parada de emergencia: este es un interruptor con enclavamiento, su funcionamiento corresponde a un interruptor normalmente cerrado que al momento de presionarlo corta la señal entregada por la placa controladora.

Al momento de seleccionar uno se debe tener en cuenta la visibilidad que tiene y la manera de montaje que tiene para su instalación en la máquina.

3. Programa de piezas:

a. Programa generador de código G: este componente se refiere al software especializado en generar la geometría deseada y pasarla código G que posteriormente es leído por la máquina para su ejecución.

a. Vectric Aspire.

b. Surfcam.

c. Fusion 360.

d. Inventor. (Anexo A.6)

La elección de estos softwares depende de las necesidades del trabajo al que estará destinado, teniendo programas enfocados a trabajos en 2D, 3D en base a las operaciones para la que está diseñada la máquina.

b. Programa interfaz usuario máquina: este componente es el software que permite la comunicación con la máquina.

a. Mach 3, Artsoft.

b. GRBL, Arduino. (Anexo A.6)

Al momento de seleccionar un programa de interfaz es importante ver la compatibilidad que tiene este con el hardware en específico con la placa controladora y con el programa generador de código, las funciones que posee para la operación, y las capacidades de soporte del computador con el programa.

2.3 Selección conceptual

Esta primera selección se elige un tipo de componente de las alternativas planteadas anteriormente (de ser necesario), para ello se utiliza el método de pesos ponderados (matriz de selección), el cual evalúa comparativamente a los componentes de acuerdo a un criterio

cuyo porcentaje de importancia es establecido a partir de los objetivos generales a cumplir. Estos criterios se presentan en la Tabla 7:

Tabla 7. Criterios para la selección de componentes mediante pesos ponderados.

Criterio	Significado
Costo	Se entiende el costo como la dificultad para poder adquirir el componente tanto material como físico.
Calidad	la calidad se entiende como la satisfacción que entrega el componente en el cumplimiento de su función y su desempeño.
Seguridad	El componente proporciona seguridad tanto para el operario como para los otros componentes.
Operación	Facilidad con que el componente puede ser usado para su propósito.
Mantenimiento / reemplazo	El componente ofrece un fácil mantenimiento que evite involucrar a otros componentes en el proceso.

La evaluación de los criterios será del 1 al 5 en donde el significado de la puntuación se explica a continuación en la Tabla 8.

Tabla 8. Evaluación de los criterios de selección por pesos ponderados

Evaluación	Significado
1	Insatisfactorio
2	Insuficiente
3	Medianamente satisfactorio
4	suficiente
5	Satisfactorio

Los resultados de la selección conceptual se encuentran en Anexos (Anexos B).

2.4 Metodología de selección de componentes para la conversión de una máquina herramienta manual a CNC

De acuerdo a las restricciones que tienen los componentes y la máquina al momento de intervenirla en la Figura 11 se muestra un diagrama de flujo el cual funciona como una guía

general para la selección de detalle de los componentes necesarios para una conversión a control numérico computarizado:

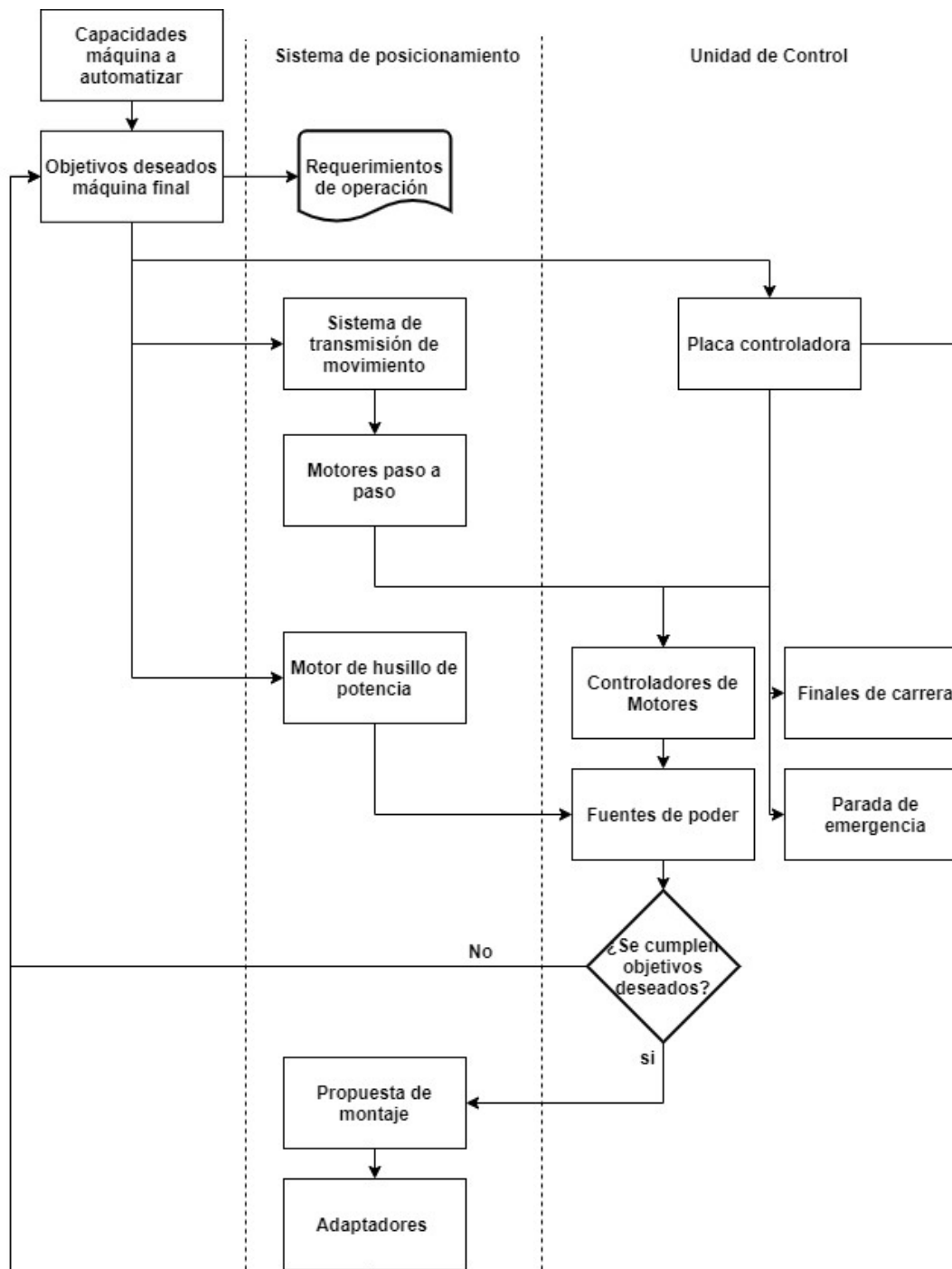


Figura 11. Diagrama de flujo de selección de componentes para la conversión.

a. Capacidades actuales de la máquina:

La entrada del diagrama considera las capacidades actuales de la máquina, estas consideran los siguientes aspectos:

- Estado actual de la máquina: en esto se considera cuáles son las dimensiones que tiene, el estado de los mecanismos.
- Dimensiones de la máquina: esto es el tamaño tanto general de la máquina como de sus componentes individuales actuales, como lo son la bancada, los carros principal y transversal, el tamaño de las piezas que pueden ser fabricadas, y considera además las distancias que restringen la inclusión de nuevos componentes.
- Parámetros de operación actuales: en esto se considera:
 1. Materiales para los que la máquina está diseñada para trabajar.
 2. Parámetros de mecanizado: los avances de las relaciones de transmisión en los que trabaja actualmente en torno. Las revoluciones por minuto máximas que puede trabajar actualmente la máquina, y los tipos mecanismos que tiene incorporada la máquina para funcionar.
 3. Rangos de operación de trabajo, el tamaño de las piezas que se pueden mecanizar.
- Capacidad que tiene la máquina para la incorporación de nuevos componentes: sin modificar severamente su estructura.

Las capacidades de la máquina se encuentran en la sección 2.1.1.

b. Objetivos deseados en la máquina final:

Luego se definen los objetivos que se quieren alcanzar en el resultado final considerando aspectos tanto técnicos como cualitativos (estética o alguna característica deseada), esto es de vital importancia ya que limitan el alcance de la conversión de la máquina, para ellos se consideran las capacidades actuales que cumple la función de torneado.

Los objetivos deseados se plasman en las capacidades finales a lograr:

- Cantidad de ejes a controlar.

- Parámetros de mecanizado.
- Materiales que se planea mecanizar con la máquina.
- Dimensiones de piezas que se pueden mecanizar.
- Tamaño máximo de piezas que pueden ser mecanizadas.
- Seguridad para el usuario.

c. Sistema de transmisión de movimiento

Este se selecciona en base a las funciones que se realizaran, definiendo la precisión y la ventaja mecánica (relación de fuerzas, velocidades y desplazamientos), este depende de lo que se quiere mecanizar, por ejemplo, si se trabajara con piezas que no requieren tanta precisión, pero sí de velocidad de mecanizado se sugiere trabajar con un sistema de piñón cremallera o por correas de transmisión, mientras que si se requiere de altas fuerzas y una precisión elevada se sugiere usar un sistema de tornillo de potencia.

Parámetros de entrada:

- Propósito de trabajo: materiales y piezas a mecanizar.
- Dimensiones físicas de la máquina.

Parámetros de salida:

- Relación de transmisión mecánica: (avance/revolución).
- Ventaja mecánica: relación (fuerza - momento de entrada) / (fuerza - momento salida).
- Espacio físico y dimensiones.
- Tipo de acoplamiento.

d. Placa controladora del sistema

La placa controladora se selecciona teniendo como entrada las capacidades deseadas de la máquina, en específico la cantidad de ejes a controlar y la precisión que se quiere alcanzar siendo.

Parámetros de entrada:

- Ejes que necesita controlar.

- Precisión que se requiere: esto afecta la cantidad de pulsos máxima que entrega por segundo (Hz).

Parámetros de salida:

- Software de control compatible.
- Cantidad de pulsos por segundo máxima (Hz).
- Voltaje de operación.
- Espacio físico y dimensiones.
- Tipo de conexiones.

e. Software de control de la placa controladora

El software de control es dependiente de la placa seleccionada ya que debe haber compatibilidad con el hardware, siendo más fácil cambiar este que los componentes físicos al momento de la selección.

Parámetros de entrada:

- Placa controladora seleccionada: compatibilidad.

Parámetros de salida:

- Dominio de archivos CAD/CAM que puede leer el software.
- Requerimientos de hardware y software para correr el programa.

f. Motores paso a paso

Estos se seleccionan por el torque que pueden ofrecer, se considera el torque mantenido, que es el mayor torque que puede entregar.

Parámetros de entrada:

- Torque requerido (N): este se estima en base al material a mecanizar y a los parámetros de operación de la máquina (relación de transmisión).
- Relación de transmisión del sistema de transmisión de movimiento.
- Ventaja mecánica del sistema de transmisión.

Parámetros de salida:

- Pasos/ revolución: cantidad de pulsos que debe recibir el motor para dar una vuelta completa.
- Corriente nominal de operación.
- Corriente máxima de operación.
- Espacio físico y dimensiones.

g. Software CAD/CAM

El software CAD/CAM debe poder trabajar con el software de control de la máquina, de este se tiene:

Parámetros de entrada:

- Dominio de archivos del software controlador de la máquina.

Parámetros de salida:

- Requerimientos de hardware y software para correr el programa.

h. Motor de husillo de potencia

El motor de husillo de potencia es el encargado del arranque de viruta por lo que debe seleccionarse de manera que se puedan realizar los trabajos para los que está planificada la máquina (en la conversión actual este se mantiene de la máquina original).

Parámetros de entrada:

- Materiales a mecanizar: que potencia requieren los materiales de trabajo para el arranque de viruta.
- Compatibilidad dimensional con la máquina: espacios que ocupa y tipo de acoplamiento con la máquina.

Parámetros de salida:

- Potencia eléctrica de entrada que requiere.
- Espacio físico y dimensiones.

i. Controladores de los motores

Para los controladores, los motores definen los parámetros de corriente y pulsos que se deben entregar. Los controladores de los motores en conjunto con la placa y el motor, definen la velocidad y precisión máxima que se podrá alcanzar.

Parámetros de entrada:

- Pasos por revolución de los motores seleccionados.
- Corriente máxima y nominal de los motores.

Parámetros de salida:

- Rango de pulsos por revolución que puede entregar.
- Rango de corriente que puede suministrar.
- Voltaje de entrada de operación.
- Espacio físico y dimensiones.

j. Finales de carrera y parada de emergencia

Los finales de carrera quedan condicionados por el voltaje y corriente de operación de la placa controladora.

Parámetros de entrada:

- Voltaje que suministra la placa controladora.
- Corriente máxima que puede suministrar la placa controladora.

Parámetros de salida:

- Espacio físico y dimensiones.
- Forma de accionamiento.

k. Fuentes de poder

Las fuentes de poder son lo último de la selección ya que se debe definir primero cuales son las necesidades energéticas del sistema de posicionamiento y la unidad de control de la máquina. Las fuentes de poder en los controladores de los motores definen el torque en los motores por la corriente que suministran y la velocidad por el voltaje al que operan.

Parámetros de entrada:

- Energía necesaria para los controladores de los motores.
- Energía necesaria para la placa controladora.
- Energía necesaria para el husillo de potencia.

Parámetros de salida:

- Espacio físico y dimensiones.

Luego de definir los componentes a utilizar se debe verificar si se cumplen los objetivos deseados, realizar un análisis crítico de estos y elegir si mantenerlos o redefinirlos, luego se debe iterar la selección hasta alcanzar lo deseado.

Se debe tener presente que los parámetros de mecanizado de la máquina se alcanzan con todo el conjunto de componentes por lo que momento al momento de reemplazar un componente se debe tener presente la relación costo/beneficio asociado a ello.

l. Propuesta de montaje

Se requiere realizar una propuesta de montaje ya que de esta manera se ve la viabilidad de que los componentes seleccionados puedan realmente ser incorporados en la máquina. esto definirá los adaptadores necesarios para ello, y si con la inclusión de estos se cumplen los objetivos. De no ser así se debe iterar la selección hasta alcanzar una posible incorporación de los componentes.

m. Adaptadores

Los adaptadores se hacen en función de las necesidades de los componentes seleccionados para alcanzar los objetivos de la conversión.

Parámetros de entrada:

- Espacio y dimensiones de los componentes.
- Necesidades de los componentes.

Parámetros de salida:

- Necesidades de incorporación.

2.5 Selección de detalle

En esta sección se definen los distintos componentes a usar siguiendo el diagrama de flujo presentado en la Figura 11.

2.5.1 Propuesta de Montaje

La propuesta de montaje tiene el fin de ver la viabilidad que tiene la incorporación de los componentes seleccionados previamente, viendo su distribución en la máquina. Para esto se consideran las siguientes restricciones en base a los objetivos deseados en la máquina final:

- La intervención de la maquina debe ser la menor posible: Ya que se realiza una conversión se considera mantener lo mayor posible las capacidades y componentes actuales de la máquina, y que las modificaciones sean para mejorarlas considerando las restricciones.
- La incorporación de los componentes no debe interferir entre sí en la función de torneado o fresadora, o con su operación manual: Esto va en contra de los objetivos

del proyecto que es la conversión total de las funciones de la máquina, y se requiere de la operación manual para un mejor uso de la máquina y posicionado manual.

- Los componentes deben estar protegidos dentro de lo posible en la operación de la máquina. Esto para evitar la interrupción en el funcionamiento y disminuir el error humano, dando seguridad y desempeño.
- Se considera la seguridad tanto del operario como de la máquina por las energías involucradas. Es necesario considerar este objetivo ya que se piensa en que la operación sea llevada por alumnos.

Se definen los movimientos de los carros transversal y principal como los Ejes X y Z respectivamente para el resto del trabajo.

De la selección conceptual se decide mantener el sistema de transmisión de tornillo motriz por lo que es necesario ver el cómo instalar los motores. Para cumplir con los objetivos planteados se propone conectar los motores en los extremos libres de los tornillos motrices, mostrados en la Figura 12.



(A)



(B)

Figura 12. Extremos libres de los tornillos motrices para ambos carros (A) carro transversal, (B) carro principal.

En ambos ejes no la operación manual no se ve interrumpida ya que en el eje X el otro extremo del tornillo motriz está conectado al volante manual, y en el eje Z si bien el otro extremo está conectado al sistema del automático original de la maquina este cuenta con un segundo sistema de transmisión manual por piñón – cremallera, como puede apreciarse en la Figura 13 y 14.

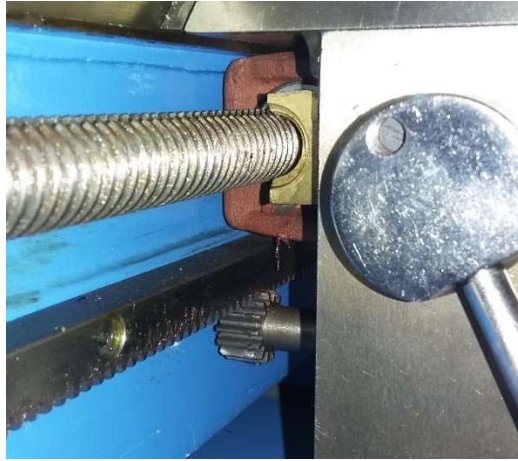


Figura 13. Sistemas de transmisión de movimiento del eje Z, por tornillo motriz y por piñón-cremallera.



Figura 14. Volantes de operación manual de ambos ejes, arriba el del carro transversal y abajo el del carro principal.

Para la incorporación de los motores se decide por incorporar un sistema de transmisión de correa sincronizadora, ya que permite desplazar la ubicación de los motores a una posición conveniente que permita un mejor soporte del motor, y así evitar colisiones con elementos que se encuentren cerca del rango de operación de la máquina. También permite versatilidad en rangos de operación de la máquina, tanto en el ajuste de torque velocidad como en la resolución de movimiento dependiendo de la relación seleccionada para cumplir con los objetivos deseados de la máquina final.

Para la incorporación del motor del eje X se opta por desplazar el motor alejándolo del motor del husillo de la máquina para evitar colisiones, además se debe de incorporar el motor de tal manera que se mueva con el carro transversal debido al movimiento de los componentes.

Para la incorporación del motor del eje Z se opta por dejar el motor dentro del espacio delimitado por la mesa que sostiene la máquina esto para aprovechar a la bancada como medio de sujeción y compactar el espacio físico que utilizaría el motor al acoplarse directamente en el eje, lo cual además dificultaría la sujeción de este a la máquina. en la Figura 15 se muestra la posible ubicación de los motores al incorporar la correa de sincronización.

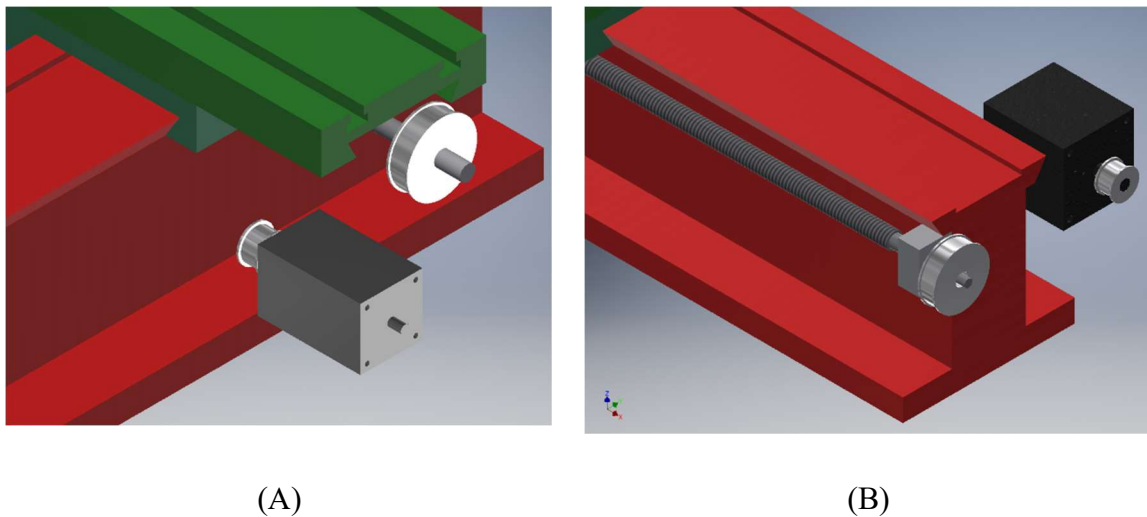


Figura 15. Propuesta de acople de motores mediante correas de sincronización, (A) Acople eje XZ (B) acople eje Z.

El mecanismo de transmisión por correa de sincronización queda expuesto, pero puede cubrirse en una caja para evitar el contacto físico con agentes externos y el operario.

La unidad de control de la máquina considera incorporar los drivers de los motores, las fuentes de poder, la placa controladora y los finales de carrera, estos últimos tienen que incorporarse de manera física en la máquina y el resto se condensara en un solo lugar para proteger de los agentes externos, es por ello que se debe diseñar una caja de hardware la cual se ubicara en la parte inferior de la base de la máquina.

Los finales de carrera no deben de interferir con el movimiento de los carros, por lo que para el eje x (carro transversal) se instalan en el carro transversal, moviéndose con él y

accionándose cuando su posición pase por el carro principal. Para el eje z se instala en la bancada de tal manera que su accionamiento ocurre cuando el carro principal, moviéndose, llega al límite del final de carrera. En la Figura 16 se muestran las posibles ubicaciones para los finales de carrera.

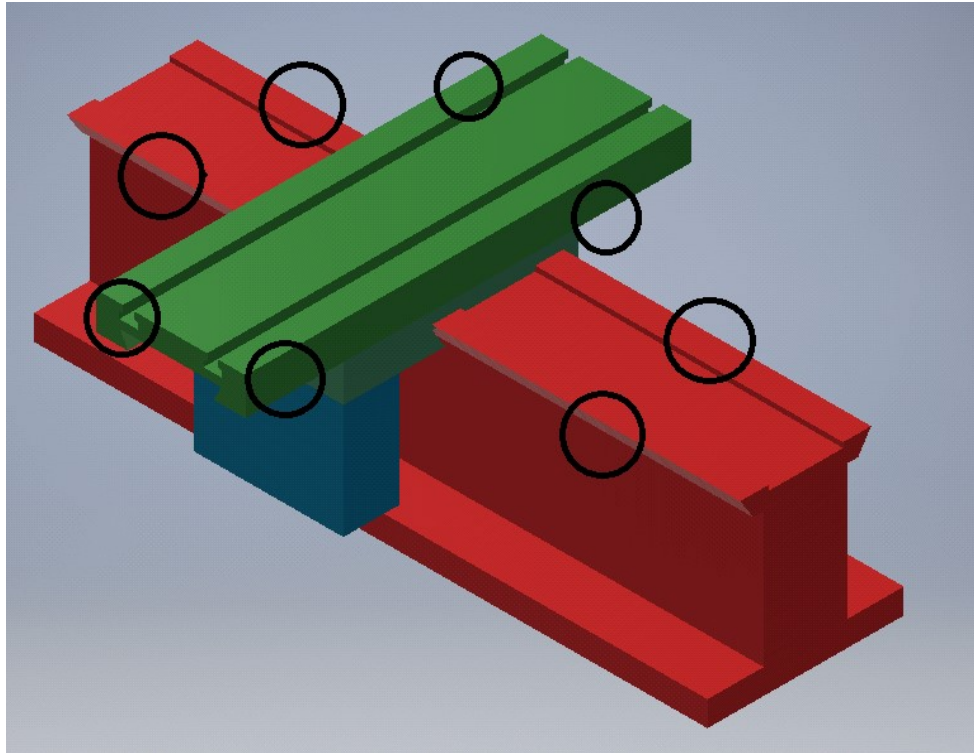


Figura 16. Propuesta de montaje de los finales de carrera, ubicaciones mostradas en círculos negros.

2.5.2 Equipo de procesamiento

a. Motores:

Para el dimensionado de los motores se estima el torque necesario en los tornillos motrices para ambos carros de desplazamiento de la máquina, para ello se realiza un diagrama de cuerpo libre para cada carro de movimiento, definiendo al movimiento del carro transversal como el eje X y al movimiento del carro principal como el eje Z. esto para encontrar la fuerza necesaria en los tornillos motrices, luego para encontrar el torque necesario se utilizara una ecuación que relaciona al torque con la fuerza de un tornillo motriz cuyo desarrollo se trabaja en el libro de diseño de elementos de máquinas de Shigley.

Mecánica del tornillo de potencia:

La ecuación que relaciona el torque ejercido y fuerza resultante sobre un tornillo de potencia que eleva o desciende una carga se muestra a continuación:

Para elevar una carga se tiene:

$$T_R = \frac{F * d_m}{2} \left(\frac{l + \pi * f * d_m * \sec \alpha}{\pi * d_m - f * l * \sec \alpha} \right) \quad (23)$$

Para descender una carga:

$$T_L = \frac{F * d_m}{2} \left(\frac{\pi * f * d_m * \sec \alpha - l}{\pi * d_m + f * l * \sec \alpha} \right) \quad (24)$$

En donde,

- F = carga que se quiere elevar o descender.
- d_m = Diámetro medio del tornillo de potencia corresponde al promedio del diámetro interno (menor diámetro del tornillo) y externo del tornillo (mayor diámetro del tornillo).
- f = coeficiente de fricción tuerca - tornillo.
- α = ángulo de la rosca del tornillo.
- l = avance del tornillo.

En los mecanismos de tornillo de potencia se debe agregar otro termino que corresponde a la fricción que tiene el tornillo con el descanso que soporta la carga. Este es:

$$T_c = \frac{F * f_c * d_c}{2} \quad (25)$$

En donde,

- T_c = Torque producido por la fricción del descanso y el tornillo al elevar o descender una carga.
- f_c = coeficiente de fricción tornillo – descanso.
- d_c = diámetro medio de fricción con el descanso.

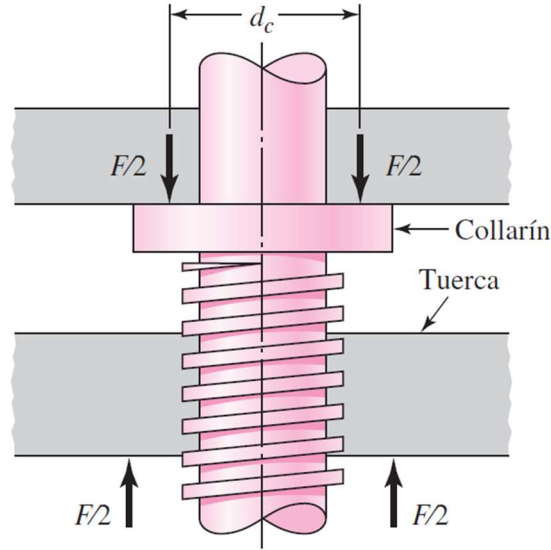


Figura 17. Diagrama de tornillo de potencia. [17]

En el mecanismo de transmisión de la máquina el collarín corresponde a los descansos de los tornillos motrices. Uniendo ambos términos de torque las ecuaciones que relacionan el torque aplicado a un tornillo motriz con la fuerza lineal resultante son:

Para levantar una carga:

$$T_R = \frac{F * d_m}{2} \left(\frac{l + \pi * f * d_m * \sec \alpha}{\pi * d_m - f * l * \sec \alpha} \right) + \frac{F * f_c * d_c}{2} \quad (26)$$

Para descender una carga:

$$T_L = \frac{F * d_m}{2} \left(\frac{\pi * f * d_m * \sec \alpha - l}{\pi * d_m + f * l * \sec \alpha} \right) + \frac{F * f_c * d_c}{2} \quad (27)$$

En el mecanizado siempre se tiene una carga en contra por lo que la ecuación es utilizar es la que levanta una carga.

Los valores de los coeficientes de roces se pueden encontrar en las Tablas 9 y 10.

Tabla 9. Coeficientes de roces entre tornillo y tuerca motriz.

Material del tornillo	Material de la tuerca			
	Acero	Bronce	Latón	Hierro fundido
Acero, seco	0.15-0.25	0.15-0.23	0.15-0.19	0.15-0.25
Acero, aceite para máquina	0.11-0.17	0.10-0.16	0.10-0.15	0.11-0.17
Bronce	0.08-0.12	0.04-0.06	—	0.06-0.09

Tabla 10. Coeficientes de roce entre tornillo motriz y descansos.

Combinación	En operación	Arranque
Acero suave sobre hierro fundido	0.12	0.17
Acero duro sobre hierro fundido	0.09	0.15
Acero suave sobre bronce	0.08	0.10
Acero duro sobre bronce	0.06	0.08

Diagrama de cuerpo libre eje X:

Para el diagrama de cuerpo libre se considera una operación estacionaria de refrentado a velocidad de avance constante, por lo que la suma de fuerzas debe de ser igual a 0. Se muestra el diagrama en tres planos para su mejor comprensión.

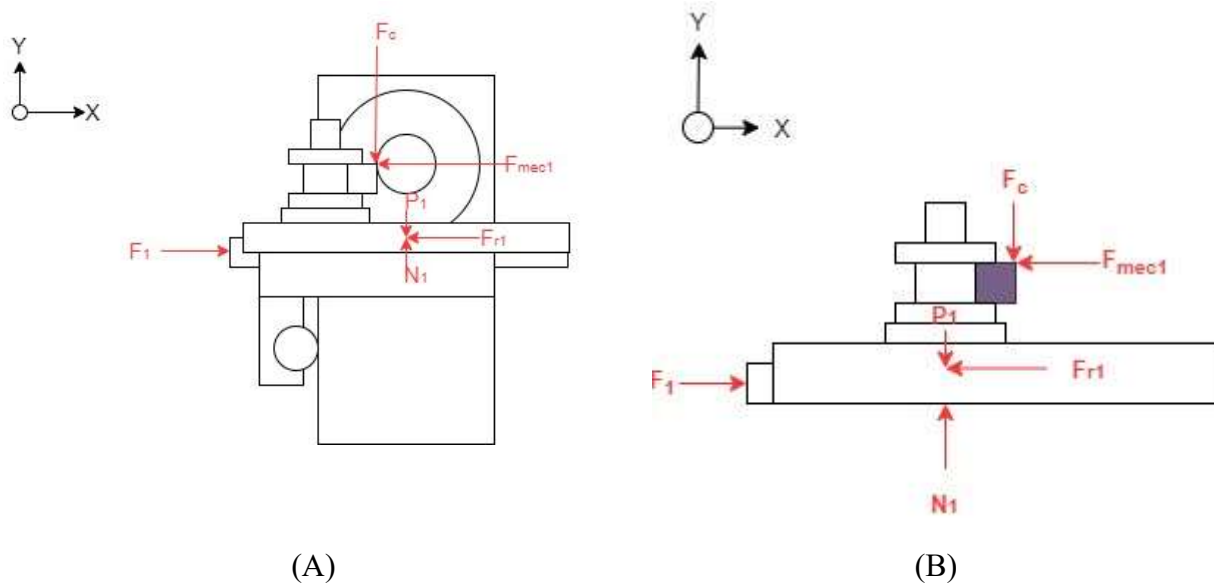


Figura 18. Diagrama de cuerpo libre para el tornillo motriz del eje X, en el plano X-Y. (A) montado en máquina, (B) cuerpo libre.

$$\sum F_X = F_1 - F_{mec1} - F_{r1} = 0 \quad (28)$$

$$\sum F_Y = -F_c - P_1 + N_1 = 0 \quad (29)$$

Como el sistema de movimiento es por guías lineales en cola de milano no se analiza el momento que se genera ya que se asume que los momentos de las fuerzas de mecanizado pueden ser resistidas. De incluir normales en los puntos de contacto de la cola de milano y la guía lineal, lo que cambiaría sería la distribución de una fuerza normal general que ejerce la bancada sobre el carro transversal como se indica en el DCL de la figura 30, pero no la fuerza normal en sí misma.

En donde,

- F_1 = Corresponde a la fuerza que debe hacer el tornillo motriz para desplazar el carro transversal.
- F_c = Es la fuerza de corte necesaria para arrancar la viruta. Esta fuerza tiene la misma dirección que la velocidad de corte.
- F_{mec1} = Corresponden a las fuerzas de mecanizado, F_{mec1} es la fuerza que se opone al avance de la herramienta en el refrentado, esta fuerza se da por la geometría de la

herramienta por lo que depende de los ángulos principales y secundarios. Existe también una fuerza en el mecanizado que empuja a la herramienta a salir del plano de trabajo (X-Y en la figura 30) pero como es pequeña en comparación al resto de fuerzas, y es difícil de estimar para las distintas condiciones de materiales y herramientas es despreciada.

- P_1 = Es el peso del carro transversal y de los elementos que se encuentran sobre el mismo.
- F_{r1} = Es la fuerza de roce entre el carro transversal y el carro principal.
- N_1 = Es la fuerza normal que ejerce la bancada sobre el carro principal.

Diagrama cuerpo libre eje Z:

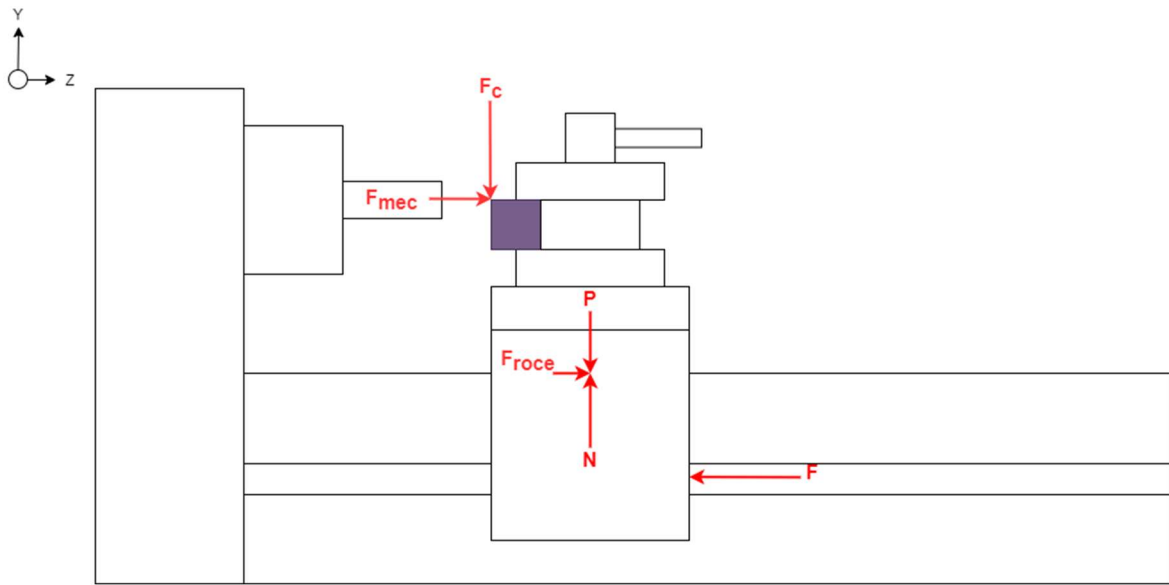


Figura 19. Diagrama de cuerpo libre para el tornillo motriz de movimiento z.

$$\sum F_Z = F_{mec2} + F_{roce2} - F_2 = 0 \quad (30)$$

$$\sum F_Y = -F_c - P_2 + N_2 = 0 \quad (31)$$

De igual manera que en el eje x los momentos de las fuerzas no son considerados ya que se asume que el carro principal y la bancada son capaces de resistirlos.

- F_2 = Corresponde a la fuerza que se debe hacer en el tronillo motriz para desplazar el carro principal en el mecanizado.
- F_c = Es la fuerza de corte necesaria para arrancar la viruta.
- F_{mec} = Es la fuerza de mecanizado. Esta se estimará como la mitad de la fuerza de corte F_c .
- P_2 = Es el peso de los componentes que están sobre la bancada.
- F_{roce2} = Es la fuerza ocasionada por el roce de entre la bancada y el carro principal.
- N = Es la fuerza normal que ejerce la bancada sobre el carro principal.

Valores numéricos de las variables:

- Pesos P_1, P_2 :

Los pesos de los componentes se estiman con la siguiente ecuación:

$$P = (V * \rho) * g \quad (32)$$

En donde,

V = es el volumen de los elementos, este se estima con las dimensiones generales de los mismos.

ρ = es la densidad de los elementos para simplificar los cálculos y sobredimensionar, se utiliza la densidad del acero que tiene un valor de $7800 \text{ (kg/mm}^3\text{)}$, que además es un material representativo de los elementos.

g = es el campo gravitacional, para un sobredimensionado se utiliza $10 \text{ (m/s}^2\text{)}$.

Tabla 11. Volumen obtenido de las dimensiones generales de los elementos de la máquina.

Volumen de los elementos	
Torreta	0,00028924 (m^3)
Carro auxiliar	0,001040366 (m^3)
Carro transversal	0,00107254 (m^3)
Carro principal	0,00319072 (m^3)

Para el cálculo de P_1 se consideran la torreta, el carro auxiliar y el carro transversal que son los que tienen efecto en el movimiento del eje X de acuerdo al DCL.

Para el cálculo de P_2 se consideran todos los elementos de la Tabla 11.

$$P_1 = 190,07 \text{ (N)}$$

$$P_2 = 438,95 \text{ (N)}$$

- Fuerzas de mecanizado:

F_c :

Para Estimar la fuerza de corte primero se analiza la capacidad que tiene la máquina. Para ello se utiliza la ecuación xx que relaciona la potencia requerida en el mecanizado con la fuerza de corte y la velocidad de corte empleada. Despejando la fuerza de corte se tiene:

$$F_c = \frac{P_c * 60 * 1000}{V_c} \text{ (N)} \quad (33)$$

Los parámetros de la máquina se muestran en las Tablas 12 y 13:

Tabla 12. Parámetros de la máquina necesarios para estimar la fuerza de corte en el torneado.

Potencia de máquina	0,50 (Kw)
Eficiencia de máquina	0,9 (-)
Potencia real de máquina	0,55 (Kw)
Diámetro de pieza	28 (mm)
Avance máximo de máquina (torno)	0,35 (mm/rev)

Tabla 13. Cuadro de capacidades de velocidad de corte y fuerza de corte de la máquina HQ500.

RPM	V_c	F_c
160	14,07 (mm/min)	2605,21 (N)
1340	117,87 (mm/min)	311,07 (N)

Los límites de la fuerza de corte que puede realizar la máquina son 311 y 2600 (N).

la fuerza de corte se estima en base a la ecuación 4, el valor de K_s se obtiene de la **¡Error!**
No se encuentra el origen de la referencia. Utilizando los siguientes parámetros:

- K_s : 3100 (N/mm) elegido por el material de mayor coeficiente que se planea poder mecanizar.
- A_p : 1 (mm) elegido por ser un valor de viruta representativo.
- f : 0,35 (mm/rev) valor máximo de avance que otorga el automático de la HQ500.

por lo que:

$$F_c = 1085 \text{ (N)}$$

Esta fuerza se encuentra dentro de los límites de la máquina por lo que se acepta para la estimación del torque.

F_{mec1}, F_{mec2} :

En la teoría existe una ecuación para aproximar el valor de esta fuerza y depende del ángulo de corte del material y la geometría de la herramienta, pero debido a las distintas herramientas a las que se puede utilizar en la máquina el valor se estima como $F_c * 0,5$, con tal de tener un cálculo conservador.

$$F_{mec1} = F_{mec} = 542,5 \text{ (N)}$$

- Fuerzas normales

Eje X:

Usando las ecuaciones del diagrama de cuerpo libre del carro transversal, y despejando se tiene:

$$N_1 = P_1 + F_c \quad (34)$$

Reemplazando los valores:

$$N_1 = 1275 (N)$$

Eje Z:

Usando las ecuaciones del diagrama de cuerpo libre del carro principal, y despejando se tiene:

$$N_2 = P_2 + F_c \quad (35)$$

Reemplazando los valores:

$$N_2 = 1523,95 (N)$$

- Fuerzas de roce:

Eje X:

La fuerza de roce en el diagrama de cuerpo libre se obtiene de la siguiente relación:

$$Fr_1 = (N_1) * \mu \quad (36)$$

En donde μ se estima utilizando un valor de 0,23 resultando en un valor de:

$$Fr_1 = 293,27 (N)$$

Utilizando las ecuaciones del diagrama de cuerpo libre del carro transversal se despeja F_1 :

$$F_1 = F_{mec1} + Fr_1 \quad (37)$$

Reemplazando los valores obtenidos anteriormente se tiene que:

$$F_1 = 835,76 (N)$$

Eje Z:

De igual manera que en el eje X se calcula Fr_2 resultando en:

$$Fr_2 = 293,27 (N)$$

Y al despejar de las ecuaciones de, diagrama de cuerpo libre del carro principal se tiene:

$$F_2 = 350,51 (N)$$

Utilizando la ecuación final que relaciona la fuerza lineal con el torque empleado en el tornillo motriz se puede obtener el torque con los parámetros del tornillo motriz, los cuales se muestran en la Tabla 14:

Tabla 14. Parámetros de tornillo motriz de eje X.

Parámetros tornillos motrices	Eje X	Eje Z
d_m (diámetro medio)	18,5 (mm)	18 (mm)
α (ángulo de rosca)	30°	30°
l (paso)	3 (mm/rev)	4 (mm/rev)

Y considerando los coeficientes de roces $f = 0,23 (-)$ y $\mu_c = 0,12 (-)$ obtenidos de la tabla 9 y 10 respectivamente.

Torques necesarios:

$$T_x = 3,28 (Nm)$$

$$T_z = 3,82 (Nm)$$

Los motores seleccionados en base al torque ofrecido son:

Eje X:



Figura 20. Motor Nema 23.

Tabla 15. Características físicas del motor NEMA 23 seleccionado.

Características físicas	
Dimensiones	Estándar NEMA 23
Peso	1,7 (kg)
Cables / Conexiones	A+: Negro; A-: Verde B+: Rojo; B-: Azul
Largo de cables	400 (mm)

Tabla 16. Características eléctricas del motor NEMA 23 seleccionado.

Características eléctricas	
Tipo de motor	Bipolar
Angulo de desplazamiento / paso	1,8°
Torque mantenido	3.0 (Nm)
Voltaje de operación	3,78 (V)
Corriente máxima / fase	4,2 (A)
Resistencia de una fase	0,9 (Ohm)
Inductancia	3,8 (mH) +- 20% (1 KHz)

Eje Z: Considerando la memoria de cálculos para el eje Z se tiene un motor NEMA 34 de las siguientes características:

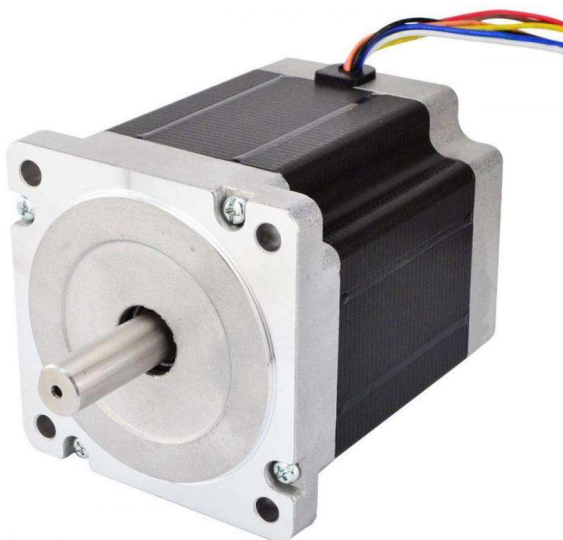


Figura 21. Motor paso a paso NEMA 34.

Tabla 17. Características físicas del motor NEMA 34 seleccionado.

Características Físicas	
Dimensiones	Estándar NEMA 34
Peso	3,2 (kg)
Cables / Conexiones	A+: Azul; A-: Negro B+: Rojo; B-: Verde C+: Blanco; C-: Naranja D+: Amarillo; D-: Café
Largo de cables	500 (mm)

Tabla 18. Características eléctricas del motor NEMA 34 seleccionado.

Características Eléctricas	
Tipo de motor	Bipolar/Unipolar: dependiendo de la conexión que se haga

Ángulo de desplazamiento	1,8°/paso (200 pasos por vuelta)
Torque Estático	Bipolar: 7,07 (Nm) o 1001 (oz*in) Unipolar: 5 (Nm) o 708 (oz*in)
Corriente Máxima/fase	Bipolar Serie: 2,12 (A) Bipolar Paralelo: 4,24 (A) Unipolar: 3.0 (A)
Resistencia de una fase	Bipolar Serie: 3,2 (Ohm) Bipolar Paralelo: 0,8 (Ohm) Unipolar: 1,6 (Ohm)
Inductancia	Bipolar Serie: 32.0 (mH) $\pm$ 20% (1 KHz) Bipolar Paralelo: 8.0 (mH) $\pm$ 20% (1 KHz) Unipolar: 8.0 (mH) $\pm$ 20% (1 KHz)

Este motor cuenta con tres tipos de conexiones que definen distintas capacidades, mostradas en la Figura 22.

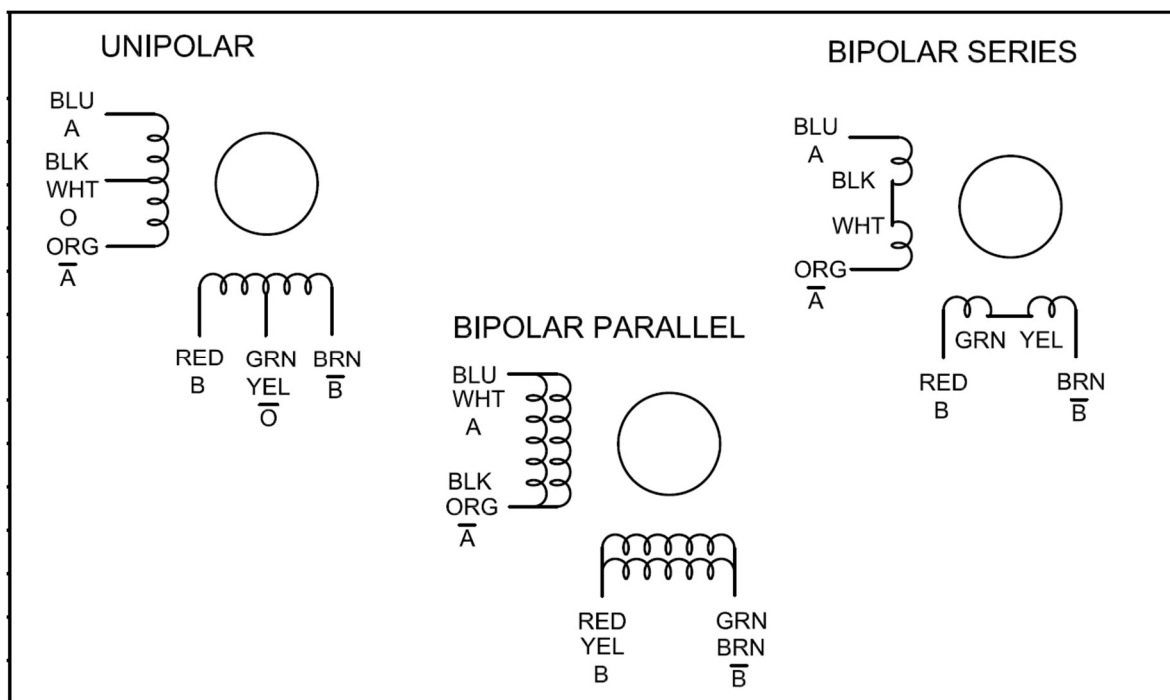


Figura 22. Conexiones del motor nema 34.

- Conexión en serie:

Esta conexión ofrece un mayor torque a bajas velocidades, ya que la inductancia es mayor que en la conexión en paralelo al tener la corriente que cruzar por una mayor cantidad de vueltas en bobina. Cuando se trabaja en este tipo de conexión la corriente de trabajo debe ser del 70% de la corriente nominal del motor para evitar sobrecalentamientos.

- Conexión en paralelo:

Esta conexión ofrece un mayor torque a altas velocidades, posee una menor inductancia que la conexión en paralelo por lo que a bajas velocidades tiene un menor torque, pero este es más estable. Al trabajar en esta conexión se trabaja a la corriente nominal del motor bipolar multiplicado por un factor de 1,96 (unipolar) o por 1,4 (bipolar) para la máxima corriente de salida de los controladores de los motores.

La conexión unipolar es idéntica a la conexión en serie, solo que los terminales que unen las bobinas secundarias se conectan a tierra para acortar las bobinas, trabajando a media capacidad que en la conexión en serie (dependiendo del tipo de motor). [18]

b. Reductor de velocidad/ acople de motores:

Por conveniencia se decide por incorporar una relación de transmisión de 2:1, esto aumenta el torque ejercido el tornillo motriz, haciendo que los motores trabajen a menor corriente y por ello aumentando su tiempo de operación, cuando trabajan en condiciones óptimas.

Existen distintos tipos de correas de sincronización con distintos tipos de perfiles entre los que se destacan las de perfil trapezoidal y perfil redondo, se pueden clasificar en serie métrica e imperial.

En la serie métrica las correas de perfil trapezoidal se designan con las letras T o AT, y el número que corresponde al paso en mm, estas correas se usan habitualmente en actuadores lineales y líneas de embalaje. Las correas de perfil redondo se designan con las letras HTD y el número de paso en (mm). Son usadas preferentemente para sistemas de elevación y de

precisión. Existen para el sector automotriz otras correas de perfil redondo designado con un número y las letras GT, además de las YU.

En la serie imperial solo se encuentran correas de perfil trapezoidal con las designaciones XL, L, H, XH en donde los pasos están normalizados en (pulgadas). Su uso depende de las prestaciones en servicio del sistema y se prefiere usar en máquinas que también usan medidas imperiales. [19]

Al buscar alternativas de correa de sincronización se decide por el siguiente elemento:



Figura 23. Sistema de transmisión por poleas y correa.

Se comprueba si la alternativa es viable mecánicamente, los cálculos se muestran en Anexos (Anexos C).

Tabla 19. Características físicas de la correa de sincronización.

Características físicas de la correa	
Perfil de la correa	HTD5
Paso de la correa	5 mm
Ancho de la correa	15 mm

Tabla 20. Características físicas de las ruedas dentadas de la transmisión de correa de sincronización.

Características físicas de las ruedas dentadas	
Paso de diente	5 mm
Soportes de correa	doble
Ancho de diente	16 mm

Diámetro rueda grande	71 mm
Ancho rueda grande	21 mm
Diámetro rueda pequeña	35 mm
Ancho rueda pequeña	20 mm
Relación de transmisión	2:1

La distancia entre centros de las ruedas dentadas es de 162 mm para el eje X y de 199 mm para el eje Z.

Las correas de sincronización se fabrican con tela impregnada de caucho con alambre de acero. Este tipo de bandas no se estira ni se desliza y por ello transmite potencia a una relación constante de velocidad angular, lo que las hace ideales para mecanismos de precisión, no requieren de tensión inicial y se pueden aplicar a un gran rango de velocidades teniendo una eficiencia del 97 al 99 %. [20]

2.5.3 Unidad de control de la maquina:

c. Placa controladora

La selección de la placa se hace en base a la cantidad de motores que se quieren controlar, la función de torneado requiere de dos motores para el movimiento de los ejes x y z planteados anteriormente, pero pensando en la conversión de la operación de fresado se selecciona una placa que opere al menos 3 ejes y que además pueda ser controlada por un software de fácil acceso y operación. Por lo que placa seleccionada es:

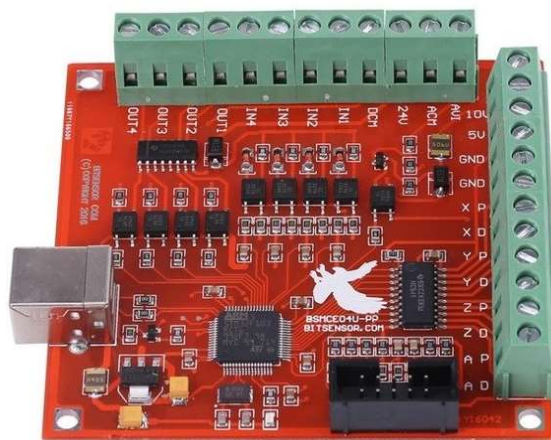


Figura 24. Placa controladora RNR MACH3.

Esta placa puede controlar hasta 4 ejes de una maquina CNC de los cuales 3 son independientes, y uno que es dependiente de uno de los primeros 3, también llamado clon ya que en él se replica el movimiento. Y es controlada por el software MACH 3.

Tabla 21. Características físicas de la placa controladora.

Características físicas	
Dimensiones	78 x 82 x 18 (mm)

Tabla 22. Características electrónicas de la placa controladora.

Características electrónicas	
Cantidad de ejes que controla	4
Voltaje de alimentación	12 y 24 (V)

La placa cuenta con 4 áreas de conexión o control:

la primera corresponde a la conexión USB mediante un cable de transferencia de datos tipo A. La segunda corresponde al control de los motores. La tercera corresponde a la conexión de los finales de carrera, la parada de emergencia, el inversor de voltaje para el husillo y la sonda para la identificación de la pieza. Y la cuarta corresponde a la conexión de un control manual de los movimientos de los ejes de la maquina mediante un jogging o joystick.

d. Controladores de motores (drivers):

Eje X: modelo:

Teniendo el motor seleccionado y según el diagrama de selección de componentes planteado anteriormente. El controlador debe poder soportar una corriente de 4 (A). Se elige el siguiente controlador y su configuración y características se muestran en las Tablas 23,24,25 y 26.

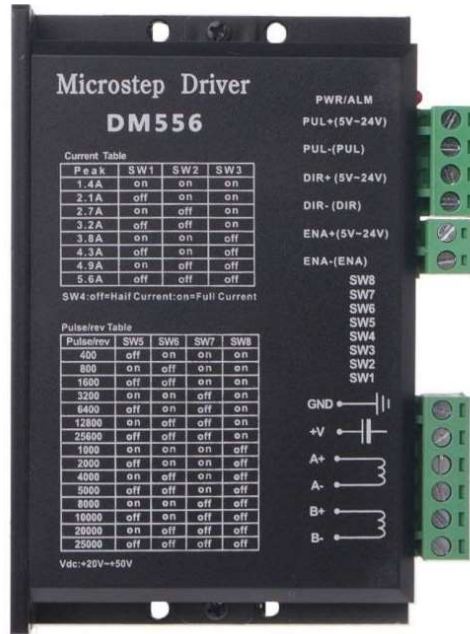


Figura 25. Driver DM556.

Tabla 23. Configuración de corriente para el controlador del motor del eje x.

Corriente de referencia (A)	SW1	SW2	SW3
1,4	on	on	on
2,1	off	on	on
2,7	on	off	on
3,2	off	off	on
3,8	on	on	off
4,3	off	on	off

4,9	on	off	off
5,6	off	off	off

Tabla 24. configuración para los pulsos por revolución del controlador del motor del eje x.

Pulso / Rev	SW5	SW6	SW7	SW8
400	off	on	on	on
800	on	off	on	on
1600	off	off	on	on
3200	on	on	off	on
6400	off	on	off	on
12800	on	off	off	on
25600	off	off	off	on
1000	on	on	on	off
2000	off	on	on	off
4000	on	off	on	off
5000	off	off	on	off
8000	on	on	off	off
10000	off	on	off	off
20000	on	off	off	off
25000	off	off	off	off

La Tabla 24 da la cantidad de pasos por revolución para motores con una resolución de 1,8°/paso, si el motor fuera de otra resolución, se debe calcular los micro pasos que resultarían.

Tabla 25. Características físicas del controlador del eje X.

Características físicas	
Peso	300 (gr)
Dimensiones	118 x86 x 34 (mm)
Temperatura de operación	-10°C a 45°C

Tabla 26. Características electrónicas del controlador del eje X

Características electrónicas	
Voltaje de entrada	20 a 50 (VDC)

Eje Z: el Modelo seleccionado fue: DMA860H de las siguientes características.



Figura 26. Driver DMA860H.

Se selecciona este controlador ya que tiene una mejor protección para el motor y cuenta con refrigeración por ventilador propia. La configuración y características de este componente se resume en las Tablas 27, 28, 29 y 30.

Tabla 27. Configuración del controlador del motor del eje Z.

Corriente de referencia (A)	Corriente más alta (A)	SW1	SW2	SW3
2.00	2,40	on	on	on
2.57	3,08	off	on	on
3,14	3,77	on	off	on
3,71	4,45	off	off	on
4,28	5,14	on	on	off
4,86	5,83	off	on	off
5,43	6,51	on	off	off
6.00	7,2	off	off	off

Tabla 28. Configuración del controlador del motor del eje Z.

(Pulso / Rev)	SW5	SW6	SW7	SW8
400	on	on	on	on
800	off	on	on	on
1600	on	off	on	on
3200	off	off	on	on
6400	on	on	off	on
12800	off	on	off	on
25600	on	off	off	on
51200	off	off	off	on
1000	on	on	on	off
2000	off	on	on	off
4000	on	off	on	off
5000	off	off	on	off
8000	on	on	off	off
10000	off	on	off	off

20000	on	off	off	off
40000	off	off	off	off

Tabla 29. Características físicas del controlador del motor del eje Z.

Características físicas	
Dimensiones	150 x 110 x 60 (mm)
Peso	590 (gr)
Temperatura de operación	0°C a 50°C

Tabla 30. Características electrónicas del controlador del motor del eje Z.

Características electrónicas.	
Voltaje de entrada	18 a 80 (VAC) o 24 a 110 (VDC)

e. Fuentes de poder

Las fuentes de poder se seleccionan en base a las necesidades de los controladores de los motores y la placa controladora, de estos se tiene que para el eje X el voltaje de operación debe ser entre 20 y 50 (VDC) y la corriente debe ser de por lo menos 4 (A) que es la corriente máxima a la que se configurara para el buen uso de los motores. Para el eje Z se tiene que el voltaje debe estar entre 24 y 80 (VDC) y la corriente con un mínimo de 4 (A). La placa controladora requiere de una fuente de poder externa para la operación de otros componentes además de los motores. De acuerdo al fabricante la fuente de poder debe ser de 12 a 24 (V), con preferencia de 24 (V), y la corriente debe ser la necesaria para poder accionar todos los componentes que se incluirán en la conversión, como lo son los finales de carrera y la parada de emergencia.



(A)



(B)

Figura 27. Fuentes de poder, (A) Fuente de poder 36 (V) y 9,7 (A), (B) Fuente de 24 (V) y 10 (A).

Tabla 31. Características físicas de la fuente de poder para los motores.

Características físicas fuente de poder de motores	
Dimensiones	215 x 115 x 31 (mm)
Cantidad de conexiones de salida	3 V+, 3 V-
Ventilación propia	Si

Tabla 32. Características electrónicas de la fuente de poder para los motores.

Características electrónicas fuente de poder de motores	
Voltaje de entrada	110 – 220 (VAC)
Voltaje de salida	36 (V)
Corriente máxima de salida	9,7 (A)

Tabla 33. Características físicas de la fuente de poder de la placa controladora.

Características físicas	
Dimensiones	200 x 43 x 98 (mm)
Cantidad de conexiones de salida	2 V+, 2 V-
Ventilación propia	No

Tabla 34. Características electrónicas de la fuente de poder de la placa controladora.

Características electrónicas	
Voltaje de entrada	110 – 220 (VAC)
Voltaje de salida	24 (VDC)
Corriente máxima de salida	10 (A)

Para la conversión de la función de torneado se eligen dos fuentes de poder de 36 (V) y 9,7 (A) una para cada motor, pese a que con una es suficiente para la operación de ambos, esto ayuda a que la fuente sea menos exigida y por lo tanto se caliente menos en operación, además de dar la posibilidad a la conversión de la función de fresadora.

Se selecciona una fuente de poder de 24 (V) y 10 (A) para que la placa controladora trabaje en estado óptimo.

f. Finales de carrera.

Los finales de carrera se seleccionan de acuerdo al tipo de accionamiento que se tendrá, debido al funcionamiento de los carros de movimiento se seleccionan finales de carrera de accionamiento en corredera, ver Figura 28, esto significa que se activan al deslizar un objeto en un plano paralelo al cuerpo del final de carrera, teniendo la ventaja que el interruptor nunca es golpeado por el movimiento.

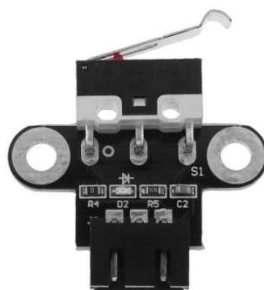


Figura 28. Final de carrera.

Tabla 35. Características físicas del final de carrera.

Características físicas	
Dimensiones PCB	27 x 13 (mm)
Temperatura máxima	80 °C
Dimensiones conjunto total	50 x 50 x 20 (mm)
Dimensión de los agujeros	3 (mm)

Tabla 36. Características electrónicas del final de carrera.

Características electrónicas	
Cables	Rojo: pin normalmente abierto (NO) Blanco: pin normalmente cerrado (NC) Negro: pin común del interruptor (C)
Voltaje de operación	5 (V) mínimo

g. Parada de emergencia:

El boton de parada de emergencia seleccionado se muestra en la Figura 29.



Figura 29. Botón de parada de emergencia.

Tabla 37. Características físicas botón de parada de emergencia.

Características físicas	
Dimensiones generales	72 x 72 x 83 (mm)
Dimensiones caja	72 x 72 x 53 (mm)
Desbloqueo	Girar en sentido horario

2.5.4 Programa de piezas

Como se mencionó en la selección conceptual el software seleccionado es inventor con su módulo HSM versión 2019, ya que su licencia de estudiante es accesible para los alumnos de la universidad. Además, este software es compatible con mach 3 para la generación del código G y la placa seleccionada previamente.

h. Software CAD/CAM (software generador de código G):

En las Figuras 30 y 31 se muestra la página de Autodesk para la descarga del software inventor y su módulo HSM 2019.

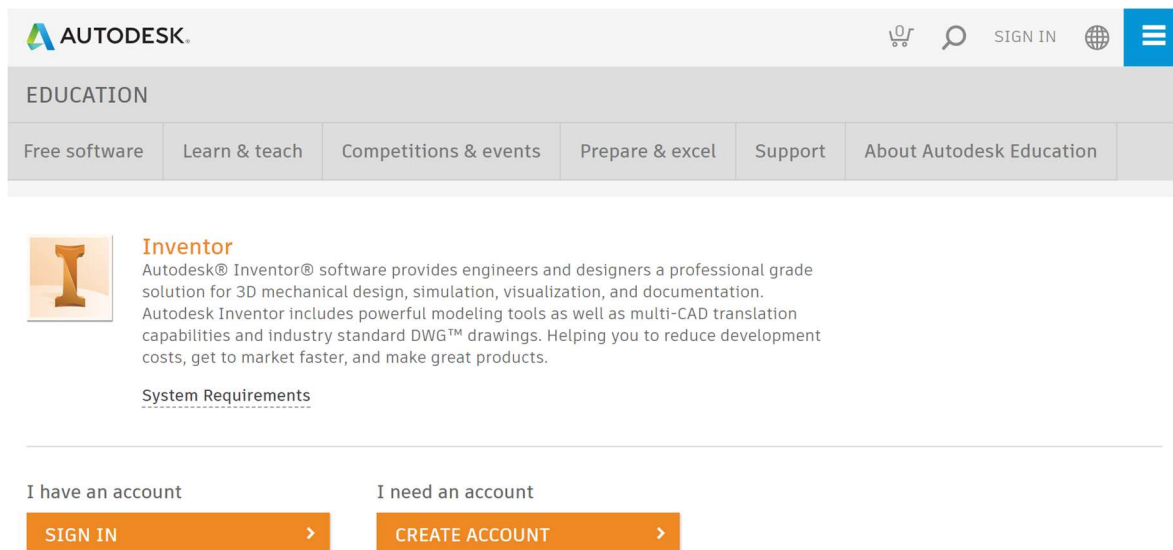


Figura 30. Autodesk inventor, programa de diseño asistido por computadora CAD.

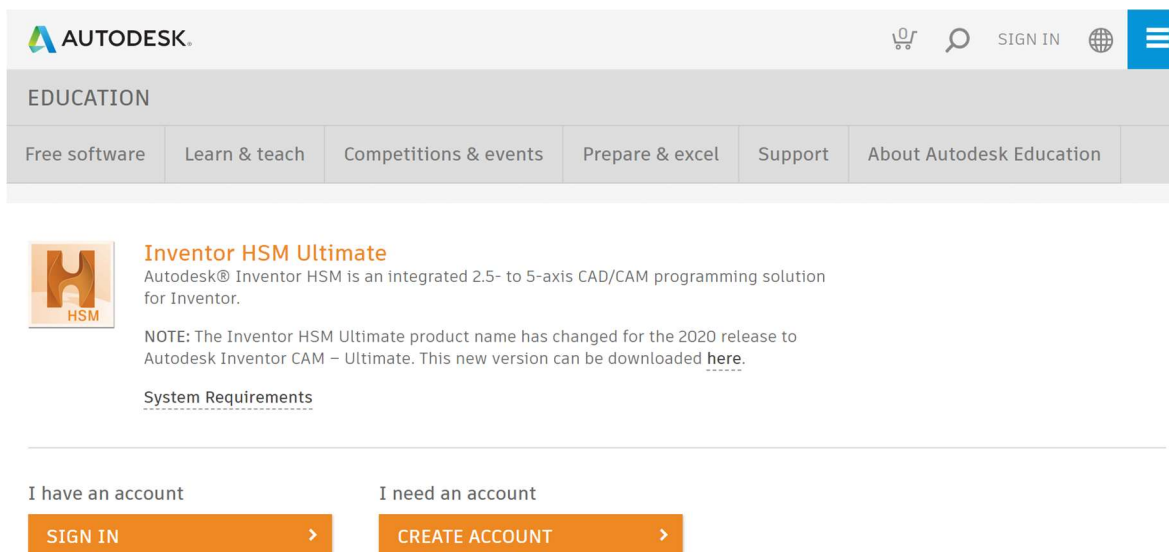


Figura 31. Extensión de inventor, soporte CAD/CAM del mismo.

- i. Software controlador de la máquina (software lector de código G):

El software seleccionado es mach3 ya que es el que tiene compatibilidad con la placa controladora seleccionada previamente. Este programa cuenta con una versión de demostración y el costo de una licencia ronda aproximadamente los 150 USD.

Mach 3 cuenta con 4 plataformas para el control numérico de distintas máquinas, Mach 3 Mill para fresadoras, Mach 3 Turn para tornos, Mach 3 Plasma para cortadores con láser, y Mach 3 loader que permite crear un perfil personalizado para el control de una placa para las tres plataformas anteriores con una configuración propia. Es por esto que para la automatización de la HQ500 se selecciona Mach3 loader como plataforma ya que la máquina multipropósito tiene capacidad de torno y fresadora.

El interfaz usuario máquina que tiene Mach 3 Turn, se muestra en la Figura 32.

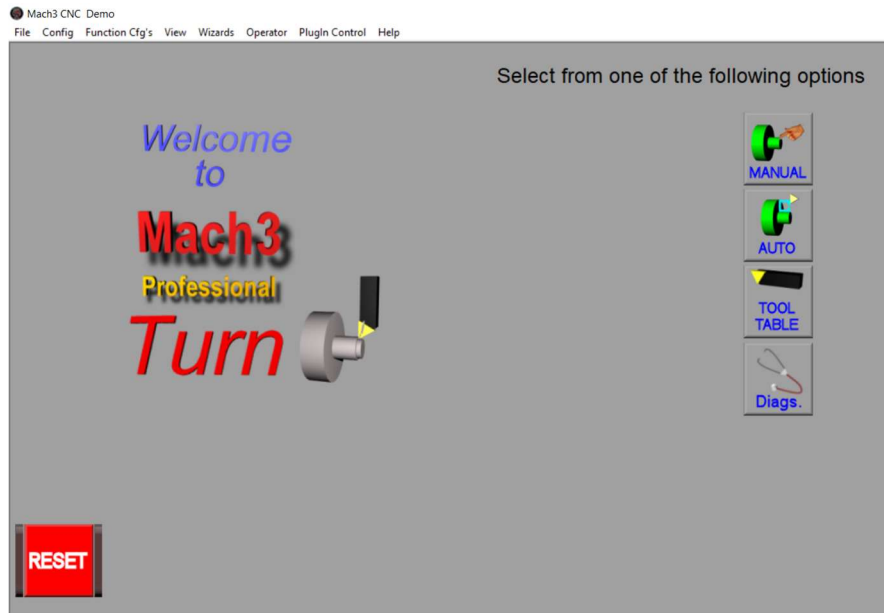


Figura 32. Módulo Mach3 turn. Programa procesador de código G, especializado para operaciones de torneado.

Dentro de las posibilidades de operación que ofrece mach3 turn se encuentran:

- Movimiento manual de la máquina, mediante pulsos.
- Escritura y lectura del código g mediante la función MDI (Manual Data Input).
- Cambio automático de herramienta.
- Carga y lectura de código g generado en otras plataformas.
- Simulación de la trayectoria de la herramienta en pantalla al cargar un código G.
- Ajuste de retroceso mediante el software.
- Límites de carrera por software (Softlimits).
- Software generador de código G.
- Incorporación de sensor de piezas.

CAPÍTULO 3: DISEÑO ADAPTADORES PARA LA CONVERSIÓN

En este capítulo se desarrolla el diseño de los componentes no comerciales, llamados por conveniencia adaptadores, que son necesarios para la incorporación de los componentes definidos en el capítulo anterior, para esto se considera la propuesta de montaje y las necesidades y restricciones de los componentes en su funcionamiento individual y conjunto.

3.1 Estado actual de la Máquina.

La máquina actualmente se encuentra detenida debido a una holgura presente en el cabezal fijo de torneado. No ha sido puesta en marcha, por lo que no ha cortado viruta y se mantiene en un estado de no operación.



Figura 33. Caja del sistema de transmisión del movimiento al cabezal fijo del torno.

Al realizar un inventario de la máquina junto al manual del usuario, se tiene que esta cuenta con los componentes necesarios para operar en su función torneado, es decir, cuenta con bancada, carro principal, carro transversal, torreta, cabezal fijo, y cabezal móvil (contrapunto), faltando los siguientes elementos para completar lo necesario para la conversión:

- 2 pernos M10 con cabeza en T.
- 2 golillas para perno M10.
- 2 tuercas M10.
- 2 pernos M8.
- 2 golillas M8.
- 2 tuercas M8.
- Regleta de ángulos del carro auxiliar.

Luego de saber que componentes son los que faltaban, se procedió a revisar la máquina, teniendo que todo funciona correctamente a excepción del cabezal fijo, se procedió a desarmar para identificar el problema, siendo que este tenía los rodamientos al revés, al armar nuevamente la holgura desapareció por lo que la máquina está en condiciones de operar y de convertir su operación de torneado.

3.2 Diseño de los adaptadores.

Para el diseño de los adaptadores se consideran los siguientes pasos a seguir:

1. **Definir las necesidades de diseño:** esto corresponde a que funciones debe realizar el adaptador. Estas se definen de acuerdo a las necesidades que tienen los componentes con los que trabaja. Se toman en cuenta los objetivos deseados en la máquina final.
2. **Estudio de Incorporación:** se realiza un estudio de las posibilidades de montaje de los componentes, esto comprende los espacios disponibles en la máquina, las dimensiones de los componentes a incorporar y se termina por

elegir una configuración que no afecte el funcionamiento y capacidades de la máquina.

3. **Realizar propuesta de diseño:** se debe mostrar un primer diseño que cumpla con los puntos mencionados anteriormente.
4. **Definir pasos de fabricación:** se debe planear los pasos a seguir para la fabricación de diseño del componente.
5. **Comprobación:** se debe comprobar si el diseño es viable tanto en el funcionamiento de la máquina como en su incorporación a la misma y su fabricación.

3.2.1 Soportes de motores

a. Necesidades de diseño:

Para los soportes se requiere:

1. Protección de la correa de sincronización y los ejes del motor y tornillo motriz.
2. Firme sujeción a la máquina y al motor.
3. Resistencia a las fuerzas involucradas.

b. Estudio de incorporación:

Los componentes a incorporar a la maquina son los motores y la correa de sincronización. De la propuesta de montaje se tiene que los ejes de los motores y tornillos motrices son paralelos permitiendo montar los motores en el soporte orientando su cuerpo hacia el interior o al exterior de la máquina. La incorporación de la correa de sincronización permite que el motor pueda ser orientado en cualquier dirección desde el eje del tornillo motriz en un radio igual a la distancia entre centros delimitada por el largo de la correa.

Eje X: el cuerpo del motor debe estar orientado hacia afuera de la máquina para evitar colisionar con la bancada y la contrapunta en operación por el largo del motor.

La ubicación del motor será alejándose del cabezal fijo ya que en sentido contrario colisionaría con el motor de potencia. Colocar el motor en la parte superior se descarta por estorbar en la función de fresadora y la parte inferior por el largo de la correa y un montaje difícil del motor en el soporte.

Eje Z: Se sigue lo mostrado en la propuesta de montaje, el cuerpo del motor puede ser orientado dentro como fuera de la máquina se prefiere hacia adentro ya que los límites generales de la máquina se mantienen de esta forma. Y se monta el motor de manera paralela a la bancada ya que estorbaría en otras ubicaciones.

En esta configuración existe la posibilidad de colisión entre los motores con los soportes para piezas que son muy largas por lo que debe de configurar los finales de carrera para cada operación. Pese a esto el rango de operación longitudinal se reduce poco.

c. Diseños propuestos:

- Soporte de motor Eje X:

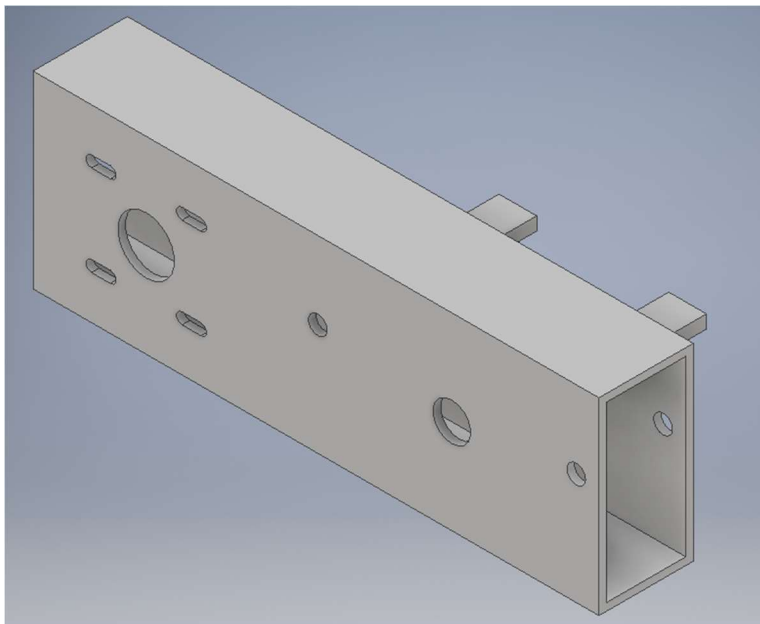


Figura 34. Diseño de soporte de motor NEMA 23 para el eje X.

El diseño propuesto de la Figura 34 corresponde a un perfil rectangular de acero al cual se le realizan perforaciones para el ingreso de los ejes del motor paso a paso y del tornillo motriz, cuenta con orificios en ovalo para los pernos de sujeción del motor que permiten el montaje de la correa de sincronización en los ejes, lo que ofrece aislamiento de las virutas en la operación de la máquina. Para la sujeción al carro transversal tiene dos pletinas que encajan en las guías de este y dos perforaciones para la entrada de pernos.

Los costados del perfil pueden ser sellados con una tapa de plástico luego de montar los componentes en la máquina.

Fabricación del soporte del EJE X:

1. Cortar el perfil rectangular a la medida requerida y eliminar rebabas.
 2. Marcar los puntos a perforar.
 3. Taladrar los orificios con brocas pequeñas y luego con la del tamaño definitivo.
 4. Fresar los orificios de las pletinas en el soporte.
 5. Mecanizar las pletinas de acople.
 6. Insertar las pletinas en los orificios y soldar.
- Soporte de motor de Eje Z:

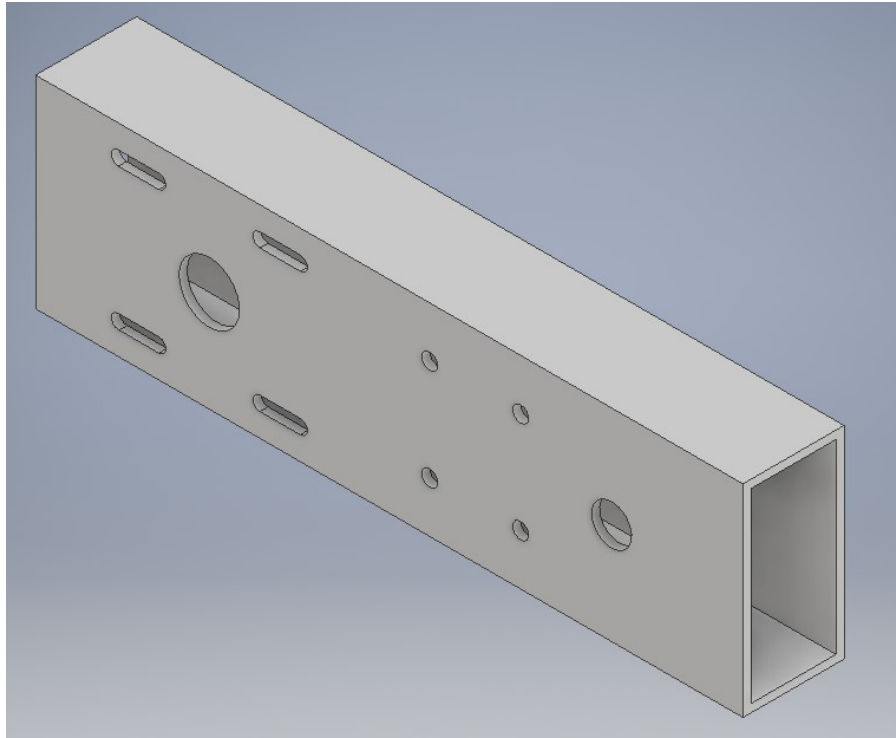


Figura 35. Diseño de soporte de motor NEMA 34 para el eje Z.

De igual manera que para el soporte del eje X en la Figura 35 el diseño se plantea en un perfil rectangular para proteger la correa y las ruedas de sincronización.

Este cuenta con las perforaciones para la entrada de los ejes del motor y el tornillo motriz, además de perforaciones para la entrada de pernos que se sujetan a la bancada.

Fabricación del soporte del EJE Z:

1. Cortar el perfil rectangular a la medida requerida y eliminar rebadas.
2. Marcar los puntos a perforar.
3. Taladrar los orificios con brocas pequeñas y luego con la del tamaño definitivo.
4. Fresar la diferencia de distancia entre las perforaciones para los pernos del motor para dar los óvalos mostrados.

3.2.2 Sistemas anti retroceso

a. Necesidades de diseño:

De los sistemas anti retroceso se necesita:

1. Tener dos tuercas separadas por una fuerza que elimine el juego que existe entre el tornillo motriz del carro transversal y la tuerca motriz.
2. Ambas tuercas no deben tener movimiento de giro relativo ya que el carro tendría retroceso.
3. El sistema anti retroceso debe poder resistir la carga de trabajo y ofrecer precisión extra.

b. Estudio de incorporación:

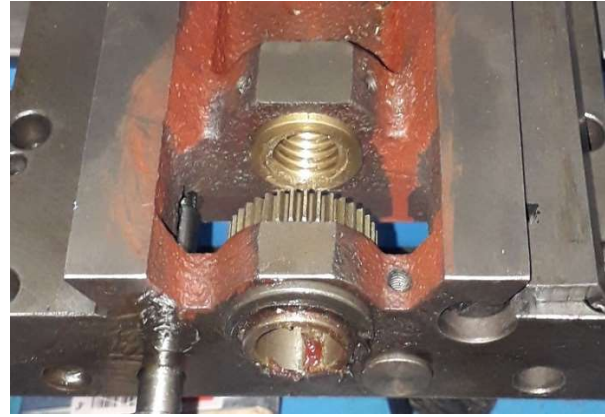
El sistema anti retroceso comprende la incorporación de una segunda tuerca partida, y un medio que ejerza la fuerza que elimine el juego. Se procede a estudiar los espacios disponibles en la máquina y el tornillo motriz para la incorporación de la segunda tuerca partida.

- Sistema anti retroceso del Eje X:

El movimiento del eje x se da por el desplazamiento del carro transversal unido a un tornillo motriz móvil con una tuerca fija al carro principal. Los componentes involucrados se muestran a continuación.



(A)



(B)

Figura 36. Carro principal de la máquina con tuerca motriz del eje X (A) Vista lateral, (B) Vista frontal.

La tuerca original de la máquina está unida al carro principal, y los espacios físicos para colocar una segunda tuerca son a la izquierda y a la derecha de la tuerca original según la Figura 36 A en el espacio entre la tuerca y el buje del tornillo (que también hace de rueda conducida para el automático del movimiento del eje X, y el espacio entre la tuerca y el final del carro principal.



Figura 37. Tornillo motriz del eje X.

El tornillo motriz puede dividirse en tres secciones de izquierda a derecha según la Figura 37, la primera corresponde a la sección del tornillo en donde se montan las piezas que unen al tornillo al carro transversal y a la manivela de movimiento manual, la segunda es la parte roscada que permite el desplazamiento, y la tercera es donde se encuentra un descanso del tornillo.

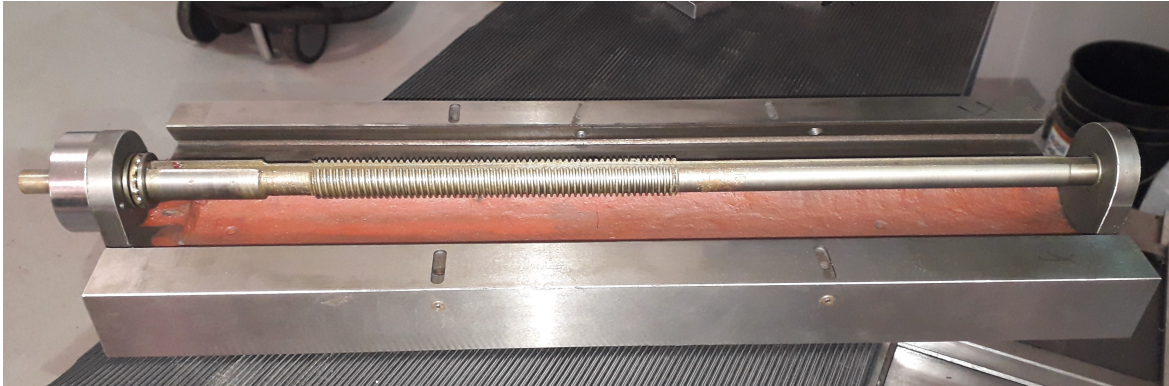


Figura 38. Tornillo motriz del eje X unido al carro transversal.

En la Figura 38 se puede apreciar que el avance del carro transversal está limitado por la parte roscada del tornillo y ser bastante corta en relación al movimiento del carro se descarta la posibilidad de extender la ubicación de la segunda tuerca muy lejos de la tuerca original, es por esto que para aprovechar la carrera del tornillo se elige el espacio entre la tuerca original y el descanso del tornillo.

- Sistema anti retroceso del Eje Z:

El movimiento del eje Z se da por el desplazamiento del carro principal unido a la tuerca motriz con un tornillo motriz fijo a la bancada, los componentes involucrados a estudiar se muestran a continuación.

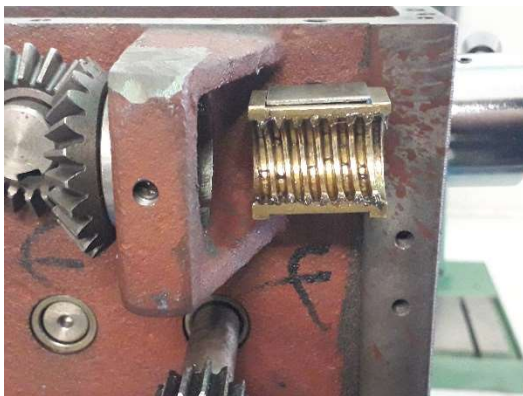


Figura 39. Tuerca partida del eje z para el movimiento automático del carro principal.

En la Figura 39 se puede apreciar que la tuerca original que da el movimiento al carro principal corresponde a una media tuerca de bronce que puede acoplarse y desacoplarse mediante el accionamiento de una palanca, mostrada en la Figura 40, que mueve una rueda excéntrica y empuja a la tuerca contra el tornillo motriz.

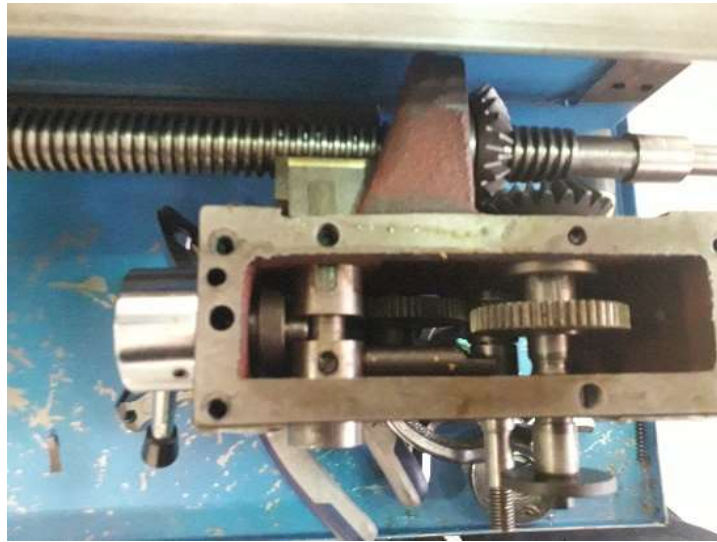


Figura 40. Caja de accionamiento automático del movimiento del carro principal.



Figura 41. Tornillo motriz del eje Z.

El tornillo motriz del eje Z mostrado en la Figura 41 puede dividirse en tres secciones de igual manera que el eje X, de izquierda a derecha, la primera sección corresponde al acople del tornillo a un descanso en la bancada además del acople de una manivela, la segunda parte es la sección roscada del tornillo que permite el movimiento, y la tercera es la conexión con el tren de engranajes que da el movimiento automático original de la máquina y que conecta con el husillo de potencia, también es un descanso del tornillo cuando no está acoplado.

La ubicación física de una segunda tuerca puede ser tanto a la izquierda como a la derecha de la tuerca (Figura 41), en un rango que comprenda el largo de la caja de accionamiento automático, ya que no afectaría el funcionamiento de la máquina ni limitaría sus capacidades. Debido al funcionamiento manual de la máquina esta debe poder acoplarse y desacoplarse con la segunda tuerca a incluir, para aprovechar el movimiento de acople de la tuerca original se selecciona el espacio junto a la palanca de accionamiento.

c. Diseños propuestos:

- Sistema anti retroceso Eje X:

Para hacer el anti retroceso en el eje x se elige usar un sistema de separación mediante pernos ya que permite ajustar la fuerza de las tuercas unidas al tornillo motriz, y un mejor aprovechamiento del espacio disponible seleccionado con tal de reducir lo menos posible la carrera del tornillo motriz, este es mostrado en la Figura 42.

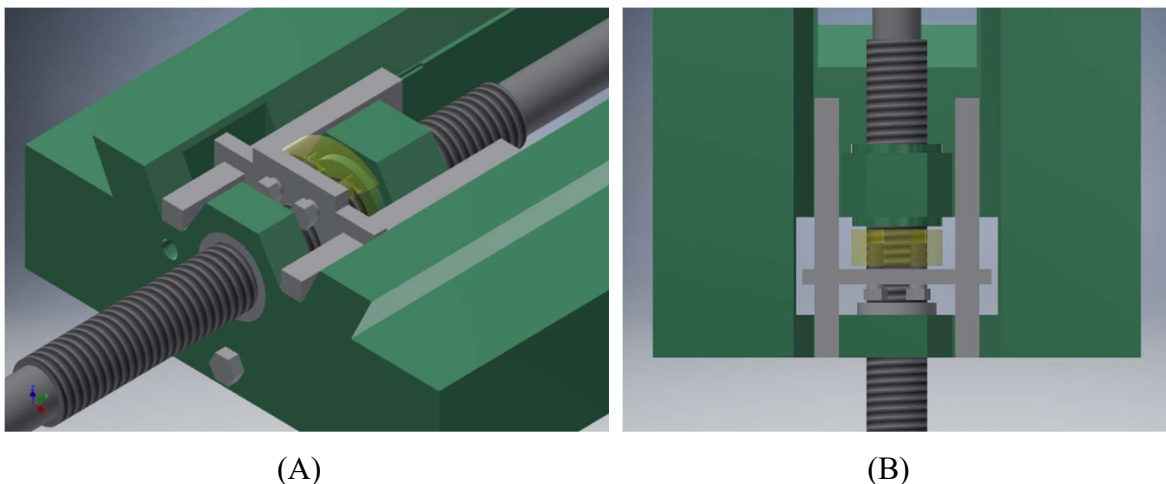


Figura 42. Diseño de sistema anti retroceso para el eje X, (A) vista en isométrico, (B) vista superior.

El conjunto propuesto se compone de una segunda tuerca de bronce, una placa y dos pletinas de acero, las cuales se muestran en la Figura 43. La tuerca se une a la placa mediante pernos y golillas de presión, este subconjunto es montado en las pletinas que a su vez están montadas fijas al carro principal.

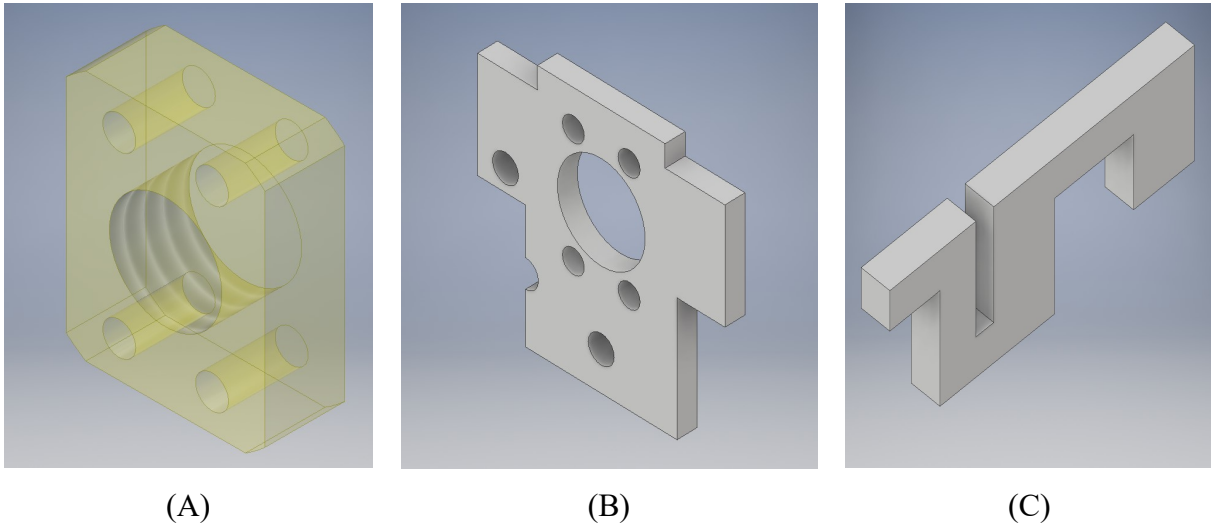


Figura 43. Subcomponentes del sistema anti retroceso del eje X., (A) segunda tuerca motriz, (B) placa anti retroceso, (C) pletinas anti retroceso.

La tuerca se acopla a la placa mediante pernos de tal manera que permite el desplazamiento de esta por el tornillo motriz y evita el giro relativo de la tuerca por el mismo. la placa mantiene una posición fija respecto al carro principal al apoyarse en las pletinas por la rendija que poseen. Con esto la eliminación de holgura entre la tuerca original y la tuerca principal se realiza al girar los pernos de la segunda tuerca.

El diseño de la placa incorpora dos perforaciones extra para la modificación del sistema de pernos a uno de resorte de ser necesario. Este sistema auxiliar funciona fijando primero la tuerca motriz a la placa y colocando pernos en el carro principal de tal manera que al cruzar por la placa puedan ajustar su posición junto al resorte en el tornillo motriz mediante tuercas impidiendo el movimiento de giro relativo y reduciendo la holgura entre las tuercas motrices.

Fabricación tuerca anti retroceso eje x:

1. Tornear la tuerca motriz.
2. Fresar placa y pletinas y tuerca motriz.
3. Perforar agujeros de placa y tuerca.
4. Roscar agujeros de tuerca motriz.

- Sistema anti retroceso eje Z:

El sistema anti retroceso del eje Z se muestra en la Figura 44 y consiste en la compresión de una tuerca sobre otra.

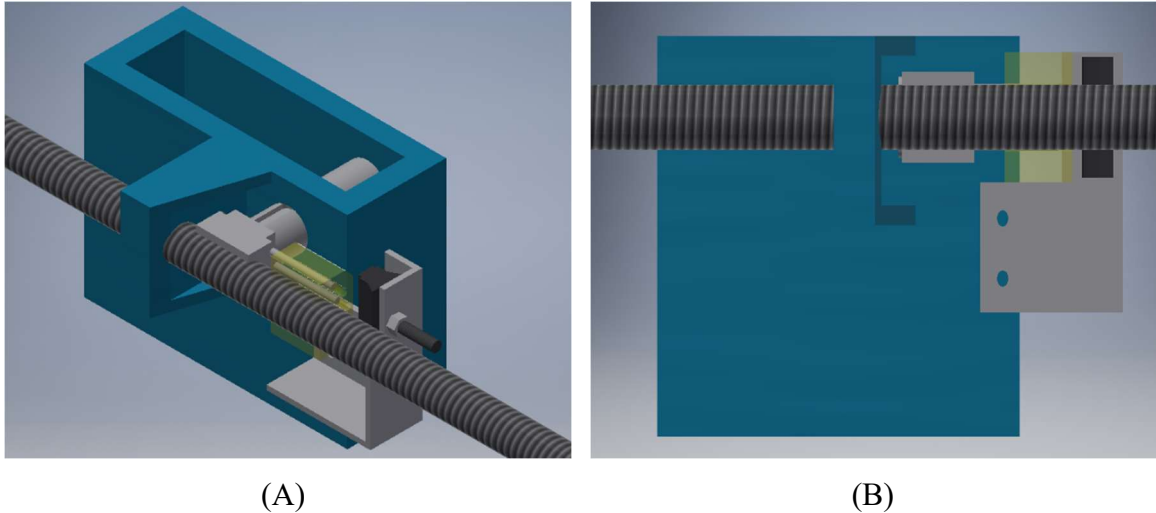


Figura 44. Sistema anti retroceso del eje Z, (A) Vista en isométrico, (B) Vista frontal.

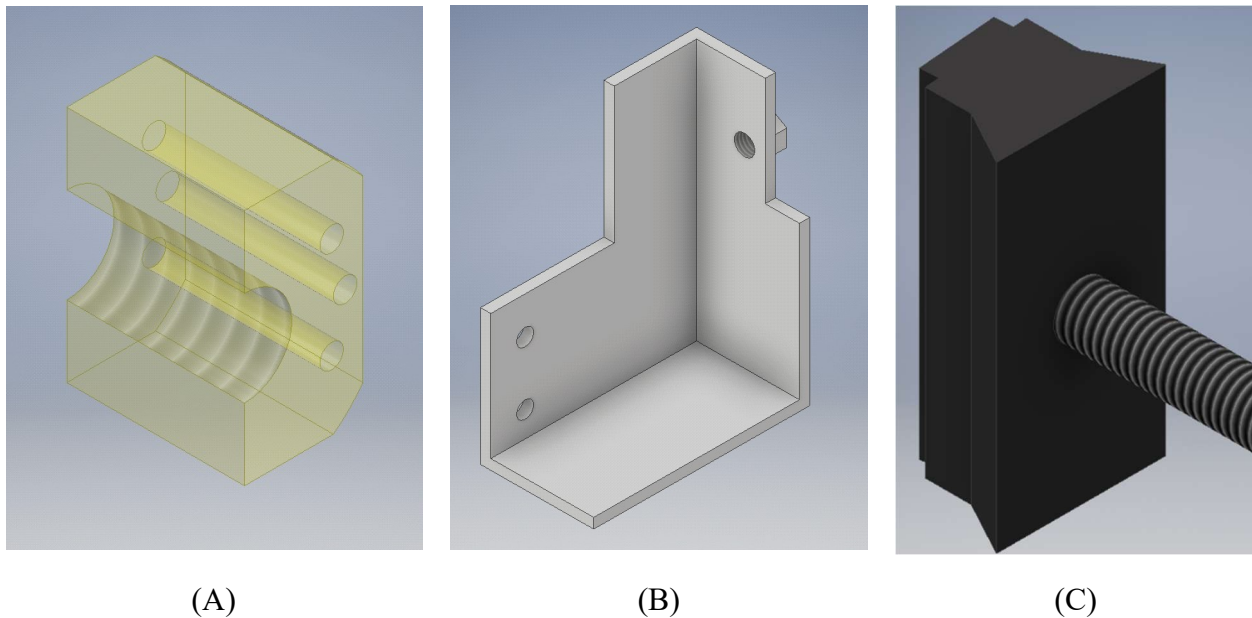


Figura 45. Subcomponentes del sistema anti retroceso del eje Z, (A) segunda tuerca motriz, (B) Soporte zapata de ajuste, (C) zapata de ajuste anti retroceso.

El conjunto propuesto se compone de la segunda tuerca partida de similares dimensiones a la original, una zapata de goma (pastilla de bicicleta) unida a un perno, y un soporte para la zapata, mostrados en la Figura 45.

La segunda tuerca se acopla a la primera mediante pasadores de tal manera que al girar la manivela de acople ambas tuercas se unan al tornillo motriz. entre los pasadores hay resortes pequeños que separan ambas tuercas para poder realizar el acople de manera manual al empujar la segunda tuerca con la primera hasta calzar en el paso del tornillo. El soporte de la zapata se fija en la caja de accionamiento automático, esto permite que el perno de la zapata pueda girar en el soporte y desplazar la zapata empujando la segunda tuerca contra la original, reduciendo la holgura entre pasoso de la tuerca. La posición de la zapata se fija mediante una contra tuerca y una golilla de presión para evitar que se desplace la tuerca.

Fabricación tuerca anti retroceso eje z:

1. Tornear y cortar y fresar la tuerca motriz.
2. Realizar soporte de la zapata a partir de un perfil L, doblarlo y soldar tuerca.
3. Perforar orificios en la tuerca original, en la segunda tuerca motriz y en el soporte de la zapata.
4. Hacer pasadores con acero plata, templarlos y dar forma a cabeza.
5. Colocar zapata en el soporte.

3.2.3 Caja de hardware del dispositivo

a. Necesidades de diseño:

De la caja de hardware se necesita:

1. Proteger a los componentes electrónicos de agentes externos y golpes.
2. Permitir la entrada de aire para una adecuada transferencia de calor.
3. Fácil acceso de ser necesario para revisiones y configuración.

b. Estudio de incorporación:

El lugar físico para incorporar una caja que contenga todos los componentes electrónicos, es el espacio debajo de la mesa soporte de la máquina. debido a la disponibilidad de una caja de computador se incorporarán los componentes dentro de esta al ser ideal para el propósito.

c. Diseño propuesto:

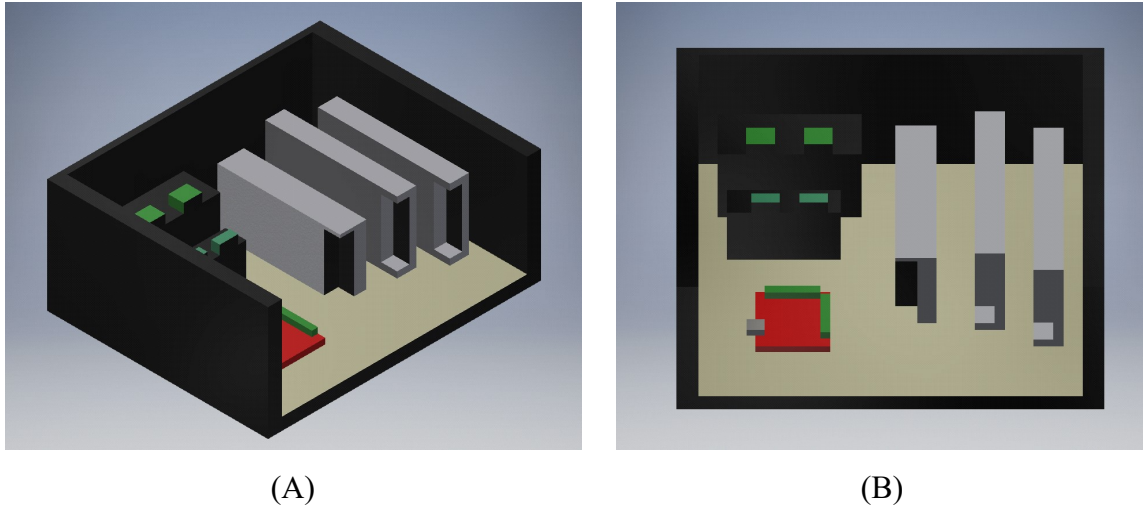


Figura 46. Diseño caja de hardware de control. (A) Vista en isométrico, (B) Vista superior.

El diseño de la caja de hardware se muestra en la Figura 46 en donde la organización de las fuentes de poder permite poder conectar los cables de manera cómoda al tener los terminales accesibles para un destornillador.

Los controladores de los motores están montados de tal manera que se puede ver la configuración de los interruptores y estos pueden ser configurados fácilmente.

La placa controladora es accesible para la conexión de los cables y su revisión.

Fabricación:

1. Como la caja de hardware viene prefabricada se corta una tabla de madera para montar los componentes electrónicos dentro de ella.

3.2.4 Soportes finales de carrera.

a. Necesidades de diseño:

1. El soporte debe permitir que el final de carrera detenga el movimiento de la máquina.

2. Poder resistir las fuerzas en reposo y de accionamiento del final de carrera.
3. Debe poder cambiar los límites de movimiento y mantener una posición fija en funcionamiento.

b. Estudio de incorporación:

Se necesita que los finales de carrera puedan ser accionado en el movimiento, para ello se puede aprovechar la geometría de la máquina para accionarlos o incorporar palpadores que accionen al interruptor. Los espacios físicos posibles son los presentados en la propuesta de montaje que consideran los costados del carro transversal y de la bancada.

- Finales de carrera del Eje X:

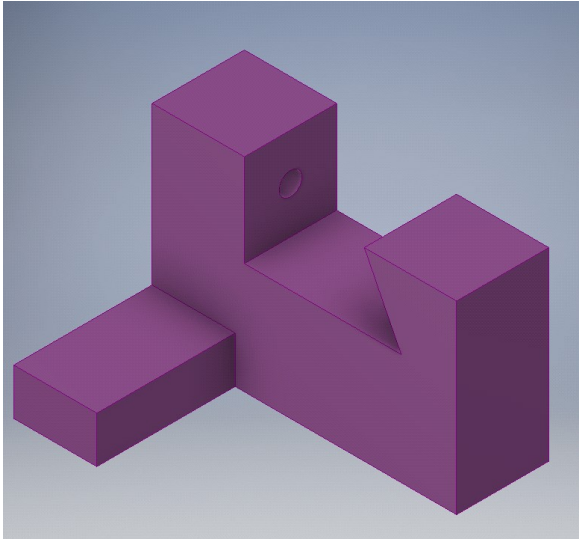
En el eje x se pueden aprovechar los espacios a los costados del carro transversal, para alejar los finales de carrera de las virutas en funcionamiento se selecciona el costado que da a la contrapunta.

- Finales de carrera del Eje Z:

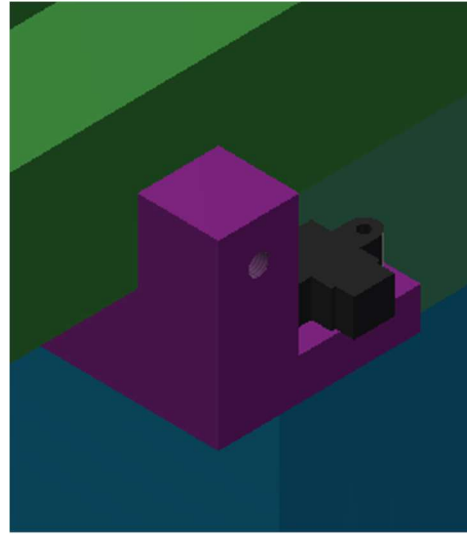
Se tienen ambos lados de la bancada para el accionamiento de los finales de carrera. Se aprovechará el costado posterior de la bancada ya que así no se estorba en su montaje con el tornillo motriz y se tiene buen espacio para su instalación.

c. Diseños propuestos

- Finales de carrera del Eje X, Figuras 47 y 48:

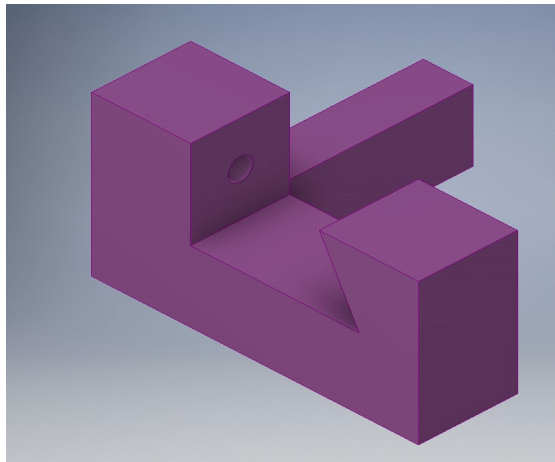


(A)

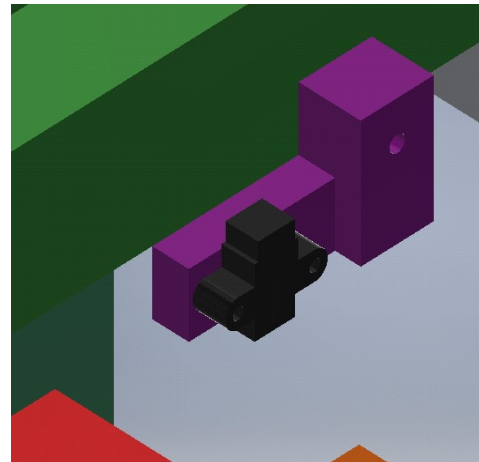


(B)

Figura 47. Final de carrera X- inicio de la carrera del eje X.



(A)



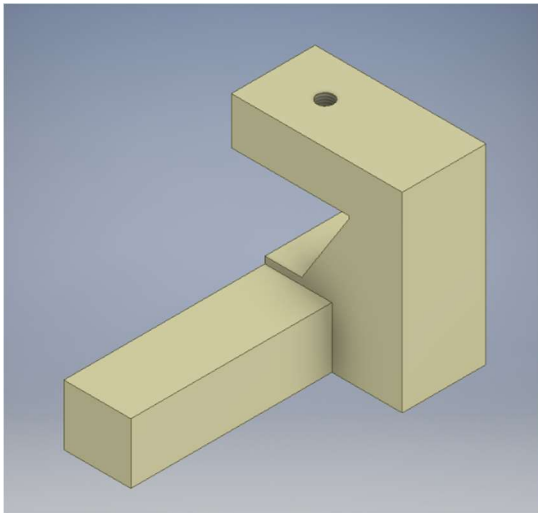
(B)

Figura 48. Final de carrera X+ final de la carrera del eje X.

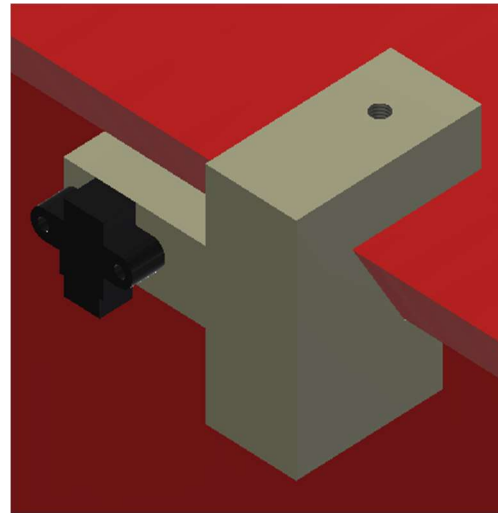
Para ambos finales de carrera del eje X se aprovecha la cola de milano de tal manera que puedan deslizarse por el carro transversal a la posición deseada, y para mantener esta posición se usa un perno que trabaja a compresión.

Para limite X- el final de carrera se activa al deslizar con el carro principal, mientras que para el limite X+ este se activa al deslizar con la bancada. En ambos casos la carrera del carro transversal no se ve limitada ya que el tornillo motriz tiene una carrera que permite el espacio que ocupa el soporte en el movimiento.

- Finales de carrera del Eje Z, Figuras 49 y 50:

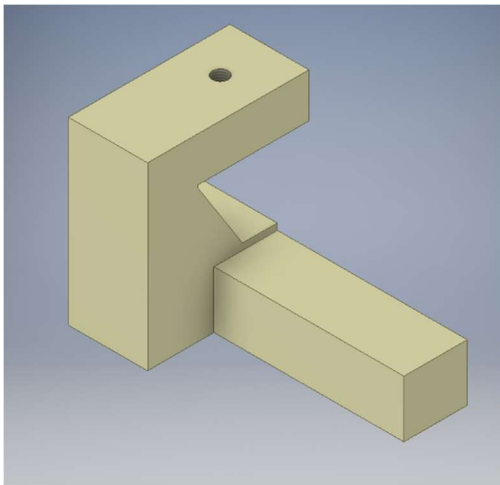


(A)

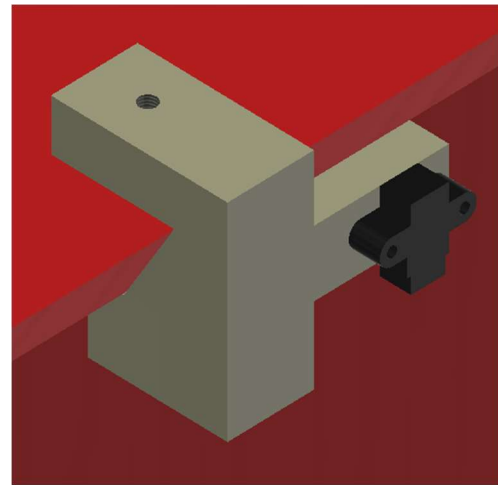


(B)

Figura 49. Final de carrera Z – inicio de la carrera del eje Z. (A) Vista en Isométrico, (B) Vista en máquina.



(A)



(B)

Figura 50. Final de carrera Z+ final de la carrera del eje Z. (A) Vista en isométrico, (B) Vista en máquina.

Los finales de carrera del eje Z aprovechan la cola de milano de la bancada para poder deslizarse y ajustar los límites deseados, estos también se fijan con un perno a compresión, los finales de carrera quedan debajo de la cola de milano esto ayuda a evitar la entrada de una viruta que dificulte su movimiento.

Fabricación:

1. Realizar la geometría deseada con bloques de madera o plástico a conveniencia al ser soportes de baja exigencia.

3.3 Estudio de pre factibilidad técnica:

Para comprobar la viabilidad de la conversión de la operación de torneado primero se debe ver el estado actual de la máquina la cual se encuentra en condiciones de ser modificada para la conversión de su operación de torneado.

Capacidad de ser modificada:

- En base a los diseños se requiere que tanto en la bancada como el carro transversal perforaciones roscadas para la incorporación de los soportes de los motores, estos componentes ya cuentan con este tipo de trabajo por lo que es posible poder realizar más.
- La inclusión de los soportes de los motores no afecta en gran medida a la estabilidad de la máquina ya que su peso es despreciable con el resto de los componentes y las guías lineales tienen buena rigidez para soportarlos.
- Se cuenta con materiales y máquinas para la fabricación de los adaptadores en el taller metalmecánico de la universidad.

3.4 Estudio de pre factibilidad económica:

Debido al carácter académico del proyecto se detalla el costo de la conversión sin considerar el impacto que tendrá económicamente, para otros proyectos se recomienda comparar con el costo de adquirir máquinas de similares capacidades. El costo está compuesto de los componentes y materiales necesarios a incorporar, omitiendo el costo de mano de obra ya que, se contará con los recursos proporcionados por la universidad, así como la asistencia técnica de profesores y laboratorios.

Tabla 38. Costos componentes necesarios para la conversión.

Componentes	Precio Bruto	Cantidad	Iva	Total
Driver DM556	\$ 29.403	1	1,19	\$ 34.990
Driver MAH860	\$ 39.488	1	1,19	\$ 46.991
Nema 23	\$ 46.210	1	1,19	\$ 54.990
Nema 34	\$ 100.832	1	1,19	\$ 119.990
Controlador	\$ 37.807	1	1,19	\$ 44.990
Fuente de poder motores	\$ 36.126	2	1,19	\$ 85.980
finales de carrera	\$ 1.252	4	1,19	\$ 5.960
parada de emergencia	\$ 6.714	1	1,19	\$ 7.990
Fuente de poder placa	\$ 21.000	1	1	\$ 21.000
Correa de sincronización	\$ 15.000	2	1	\$ 30.000
Despacho	\$ 10.060	1	1	\$ 10.060
			Suma	\$ 462.940

Tabla 39. Costos de materiales necesarios para la conversión.

Materiales	Precio Bruto	Cantidad	Iva	Total
Bronce	\$ 21.000	1	1	\$ 21.000
Acero Plata 3 mm	\$ 4.736	1	1	\$ 4.736
Herramienta acero rápido	\$ 15.000	1	1	\$ 15.000
Pernos tuercas	\$ 4.890	1	1	\$ 4.890
Regleta de conexión	\$ 1.190	1	1	\$ 1.190
Cable de cobre trifásico	\$ 3.400	1	1	\$ 3.400
Zapatilla de conexión	\$ 3.890	1	1	\$ 3.890
Enchufe macho	\$ 990	3	1	\$ 2.970
			Suma	\$ 57.076

CAPÍTULO 4: IMPLEMENTACIÓN

Este capítulo trata de los resultados al fabricar e incorporar los componentes seleccionados y diseñados, pasando por los procesos de construcción, montaje configuración y pruebas de la máquina, concluyendo en una metodología paso a paso para la conversión de un equipo manual a CNC.

4.1 Construcción

La construcción de los adaptadores se realizará en las dependencias de la universidad, principalmente en el taller metalmecánico, y el laboratorio de manufactura avanzada.

4.1.1 Construcción de adaptadores

- Soportes de los motores:

A partir de un perfil rectangular de 100 x 50 mm se dimensionó en una sierra el tamaño de cada soporte. Luego con un gramil de altura se marcó los puntos a perforar en el perfil, y con una broca de 4 mm se perforo todos los puntos, luego para alcanzar las dimensiones de cada agujero se procedió a perforar con las respectivas brocas. Para realizar la ranura que permite el movimiento del motor se utilizó una fresa del tamaño de la perforación y se freso linealmente para completarla.

Para el soporte del motor del eje X se fresaron las ranuras del tamaño de las pletinas y las pletinas que sujetan el soporte al carro transversal y se soldaron, luego se rebajó con una lima para limpiar la soldadura, los resultados se muestran en las Figuras 51 y 52.



Figura 51. Soporte de motor eje X construido.



Figura 52. Soporte del motor del eje Z construido.

- **Sistemas anti retroceso:**

Para realizar las tuercas anti retroceso fue necesario identificar la rosca de cada tornillo motriz. Para identificar la rosca se procedió a una inspección visual, la cual corresponde a una trapezoidal para ambos tornillos motrices siendo el del eje X una rosca derecha y el eje Z una rosca izquierda.

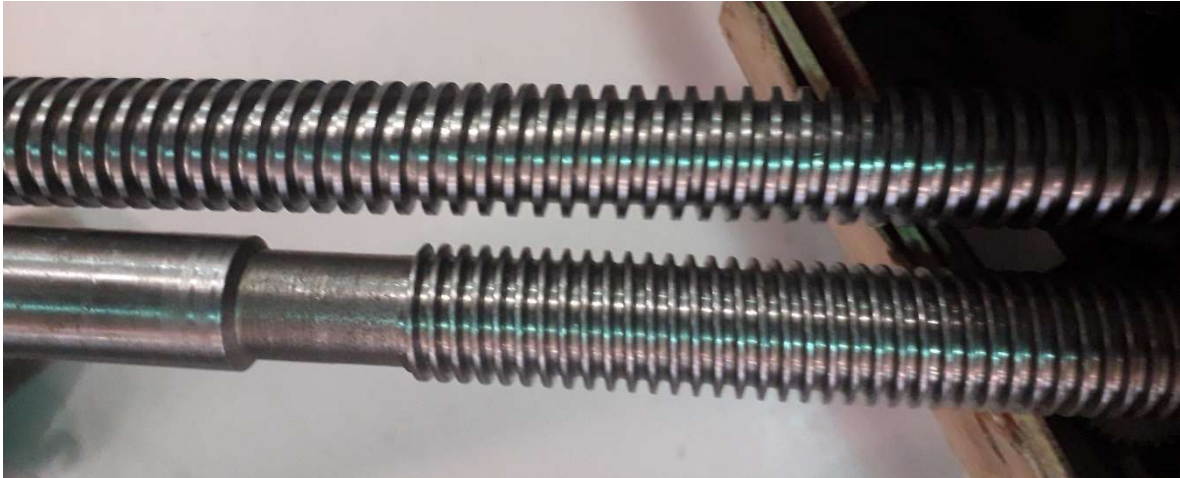


Figura 53. Roscas de tornillos motrices de los ejes X y Z.

Luego debido a que no hay galgas para este tipo de rosca se procedió a utilizar un proyector de perfiles, Figura 54, para terminar de identificar la rosca.



(A)



(B)

Figura 54. Proyector de perfiles utilizado para la medición del tipo de rosca de los tornillos motrices (A) Montaje del tornillo del eje X, (B) vista al momento de medir el perfil del tornillo.

El perfil se midió en los parámetros mostrados en la Figura 55.

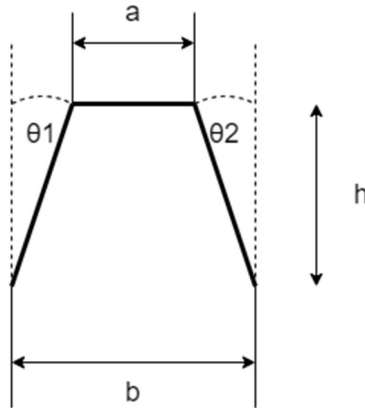


Figura 55. Variables a medir para identificar los perfiles de los tornillos motrices.

En ella los resultados de la medición de 4 pasos consecutivos de ambos ejes fue la siguiente,

Tabla 40. Medidas del perfil del tornillo motriz del eje X.

EJE X	a	b	h	θ_1	θ_2
Paso 1	0,98	1,85	1,84	13°	17,5°
Paso 2	0,96	1,83	1,80	13,3°	17,5°
Paso 3	0,95	1,80	1,65	13,3°	18,1°
Paso 4	0,94	1,86	1,65	13°	18,3°

Tabla 41. Medidas del perfil del tornillo motriz del eje Z.

EJE Z	a	b	h	θ_1	θ_2
Paso 1	1,45	2,44	2,15	13,27°	16,34°
Paso 2	1,34	2,40	1,98	11,56°	17,04°
Paso 3	1,37	2,46	1,98	10,47°	16,40°
Paso 4	1,30	2,50	2,01	14,21°	16,30°

Entre pasos se encuentra el perfil que tienen los tornillos motrices, de estos se tiene que el ángulo corresponde a 30° aproximadamente, y comparando con la norma para los tornillos de potencia [21] corresponde a una métrica trapezoidal. Comprobando se midió la altura y los filetes del tornillo. La diferencia de simetría entre ambos lados del perfil se explica debido a una pequeña deflexión de la herramienta durante el mecanizado del tornillo, para ambos

ejes. Luego bajo esta norma se tornearon las tuercas en bronce usando un buril de acero rápido con la geometría del perfil de la rosca, los resultados se muestran en la Figura 56.



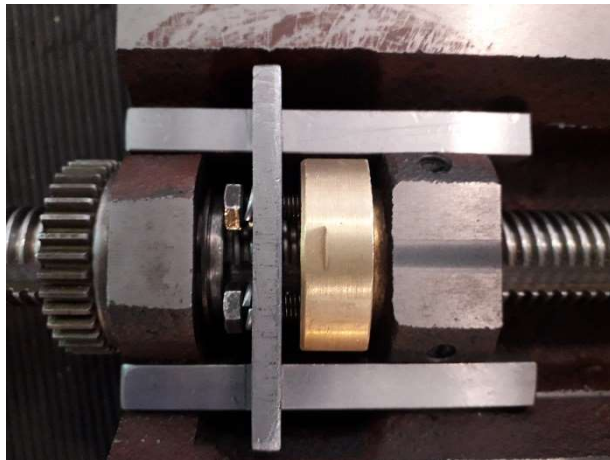
(A)



(B)

Figura 56. Tuercas de tornillos motrices para sistema anti retroceso de ambos ejes.

Luego se procedió mecanizar las tuercas, para el eje X se fresaron los costados y se dejó del grosor necesario mediante fresadora y las operaciones de taladrado y roscado para obtener el resultado del diseño mostrado en las Figuras 57 y 58.



(A)

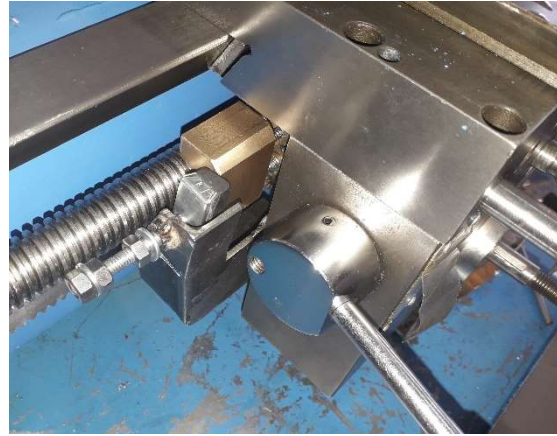


(B)

Figura 57. Resultado Sistema anti retroceso del eje X.



(A)



(B)

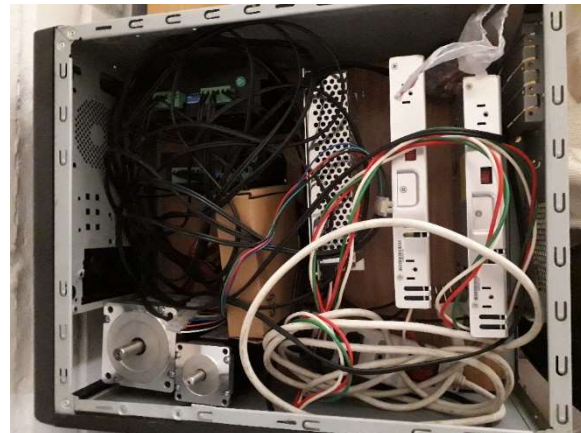
Figura 58. Resultado Sistema anti retroceso del eje Z.

- Caja de hardware del dispositivo:

Para el soporte de los componentes se usó una tabla de madera de las dimensiones de la caja de computador.



(A)



(B)

Figura 59. Caja de hardware (sin tapa), (A) caja final, (B) conjunto electrónico de la máquina.

Para mayor comodidad en el cableado, se utilizó una zapatilla para las conexiones de las fuentes de poder (Figura 59), así mediante su interruptor se energiza a todo el conjunto, quedando solo dos salidas de cables, una hacia un enchufe a la red de 220 V y la otra hacia un computador que controle la máquina mediante un cable de transferencia de datos tipo A – USB.

4.1.2 Modificaciones en Máquina

Para la incorporación de los distintos componentes se realizaron las siguientes modificaciones a la máquina.

- Bancada: se realizaron las perforaciones roscadas para la entrada de pernos que sujetan el soporte del motor NEMA 34, esto se muestra en la Figura 60.



Figura 60. Perforaciones realizadas a la bancada.

- Carro principal: se fresaron los apoyos de las pletinas en los descansos del tornillo motriz del eje x donde está el buje y la tuerca motriz original de la máquina, esto para que las pletinas se apoyaran en una superficie recta. Se realizaron también perforaciones para la entrada de pernos para fijar la placa que sujeta a la tuerca motriz.
- Carro transversal: se realizaron dos perforaciones roscadas en la parte posterior para una la sujeción del soporte del motor del eje X.
- Tornillo motriz del eje x: Para la incorporación del motor del eje X se tuvo que extender el eje del tornillo motriz para ubicar la rueda dentada de la correa de sincronización, esto se realizó roscando el extremo y usando un esparrago se incorporó un cilindro del mismo diámetro, el resultado se muestra en la Figura 61.



(A)

(B)

Figura 61. Extensión eje de tornillo motriz del eje X. (A) eje original con su extensión, (B) eje final extendido.

4.2 Montaje de los componentes

Para la incorporación de los elementos diseñados y comprados para la máquina se divide el montaje por eje de movimiento.

- Paso 1: Montaje carro principal en bancada: verificar que la tuerca original este dentro de este junto con el buje del tornillo motriz, colocar el carro principal sobre la bancada y ajustar la cuña en la cola de milano verificando que el carro principal pueda realizar toda su carrera.
- Paso 2: Instalación del sistema anti retroceso del eje X: primero se instalan las pletinas de apoyo en el carro principal, luego se introduce la placa junto a la tuerca anti retroceso en las rendijas de las pletinas, después se introduce el tornillo motriz del eje X cruzando por el buje de descanso, la tuerca anti retroceso y la tuerca original, ajustando los pernos de la placa para que calce con el paso del tornillo. Se procede a ajustar el anti retroceso verificando que se reduzca la holgura entre la tuerca y el tornillo.
- Paso 3: Instalación del sistema anti retroceso del eje Z: instalar la caja de automático de la máquina en el carro principal y montar el tornillo motriz del eje Z ajustando el final de tornillo al descanso de la máquina. luego se instala el segundo descanso ubicado al final de la bancada y se fija a la máquina.

- Paso 4: Montaje carro transversal: montar el carro transversal sobre el carro principal y ajustar la cuña en la cola de milano mediante el perno de ajuste procurando de que el carro transversal pueda realizar toda su carrera sin trabarse. Colocar el conjunto de piezas que forman el descanso del tornillo motriz al inicio de su carrera junto a la manivela. Comprobar el ajuste anti retroceso.
- Paso 5: Finales de carrera del eje X: los soportes de los finales de carrera se colocan por izquierda y derecha del carro transversal, comprobando que deslicen por la cola de milano.
- Paso 6: montaje motor eje X: se monta el soporte del motor con la rueda dentada y la correa de sincronización en su interior sobre el carro transversal, el eje del tornillo motriz debe cruzar por la rueda dentada y las pletinas del soporte del motor deben encajar en las ranuras del carro transversal. Colocar golillas entre el carro y el soporte del motor y fijar con pernos y golillas de presión, por ultimo colocar el descanso del final de la carrera en el soporte del motor.

Montar el motor NEMA 23 junto a la rueda dentada de su eje en el soporte del motor, acercar el motor al eje del tornillo motriz para cruzar la correa de sincronización, tensar la correa y fijar el motor al soporte.

- Paso 7: Finales de carrera del eje Z: los soportes de los finales de carrera se colocan a la izquierda y a la derecha del carro principal apretando un poco sus pernos para que mantengan su posición.
- Paso 8: Montaje motor eje Z: montar el soporte del motor junto a la rueda dentada y la correa de sincronización en su interior en la bancada, el eje del tornillo motriz del eje Z debe cruzar por la rueda dentada y fijar mediante pernos y golillas de presión el soporte a la bancada. Montar el motor NEMA 34 junto a la rueda dentada de su eje en el soporte del motor, tensar la correa y fijar el motor al soporte.

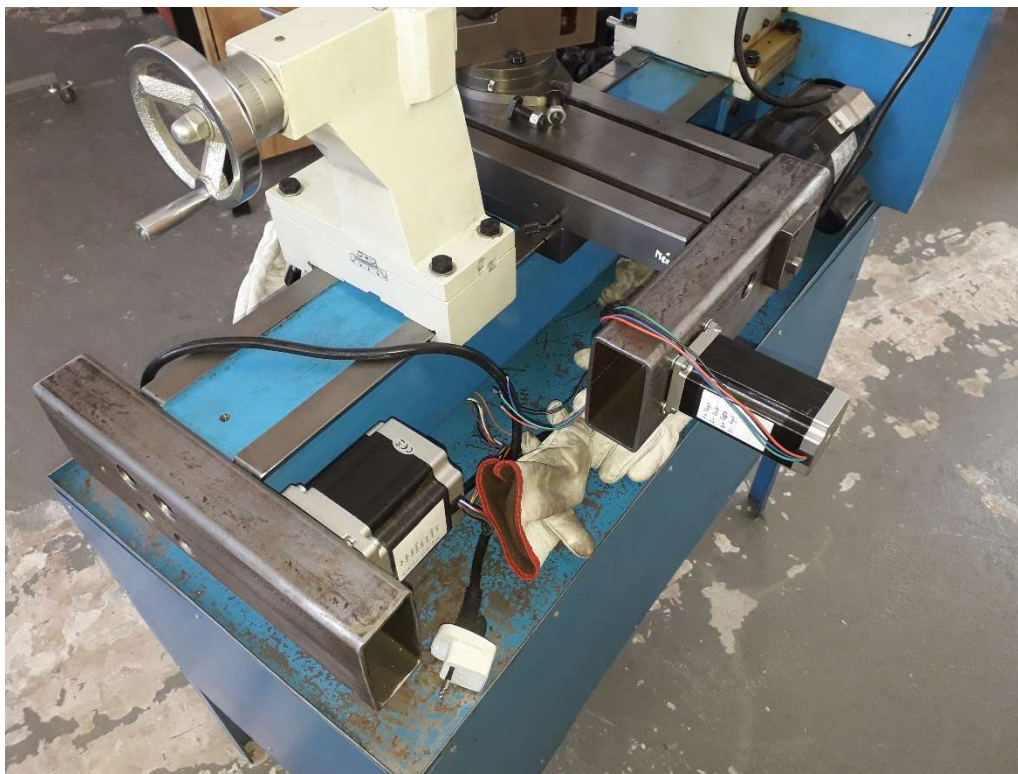


Figura 62. Resultado del montaje.

4.3 Hardware y Software del dispositivo

Este capítulo trata de las conexiones que son necesarias en el hardware y de la configuración de software que debe realizarse para que la máquina multipropósito cumpla con la función de ser una máquina CNC. A continuación, en la Figura 63, se muestra el flujo de información que se realiza para la creación de piezas.

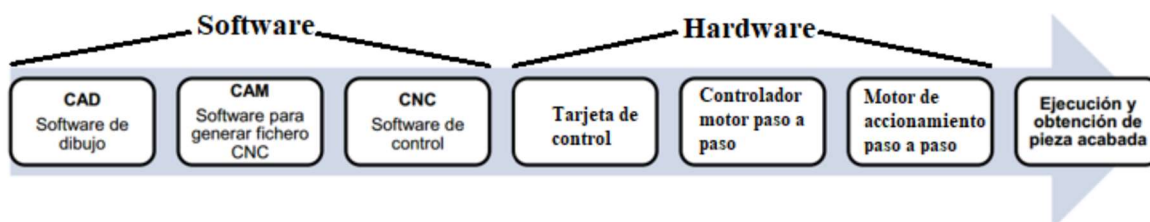


Figura 63. Flujo de Información para la creación de piezas con control numérico. [22]

Debido a que en la conversión se conserva el husillo que mueve a la pieza de trabajo, no se cuenta con la función de home, y se cuenta con un motor de 8 cables, el cableado actual realizado en la máquina multipropósito es el de la Figura 65.

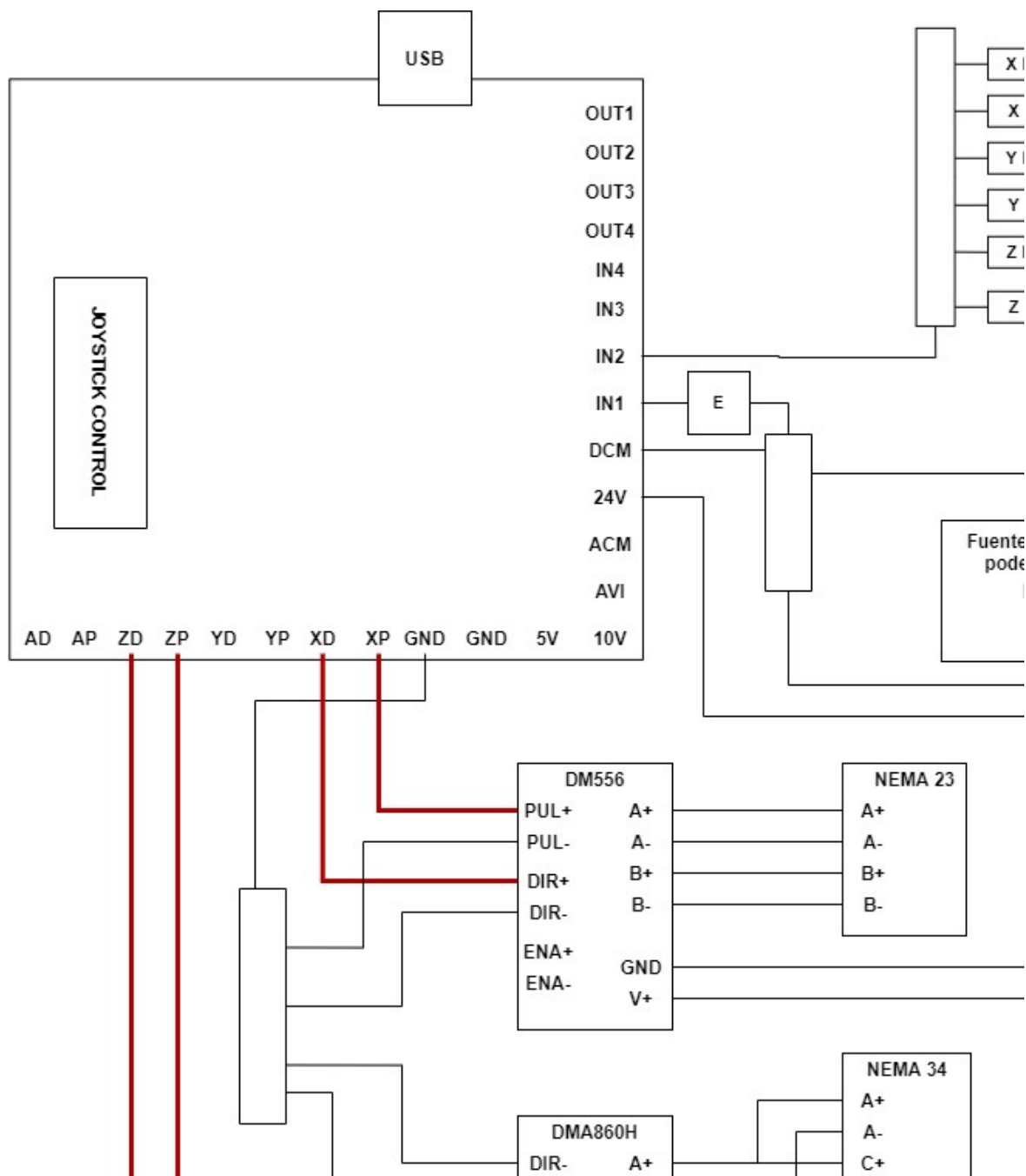


Figura 65. Cableado realizado para las conexiones a la placa controladora.

En donde, los rectángulos en blanco corresponden a terminales comunes para las conexiones, el cuadrado blanco con la letra E corresponde a la parada de emergencia y la conexión del motor NEMA 34 es en paralelo.

4.3.2 Controladores de los motores (Drivers)

los controladores deben configurarse en dos parámetros el primero es la cantidad máxima de corriente que sale desde el controlador hacia el motor, esta se da por la capacidad máxima nominal del motor y el uso que se le dará a este, siendo en donde la corriente suministrada el torque que puede ofrecer el motor. El segundo parámetro es la cantidad de pulsos por revolución que se enviarán al motor, este parámetro limita la precisión que pueden alcanzar los giros del motor y ocupan la capacidad de pulsos máxima que puede entregar la placa controladora. La configuración de los ejes se muestra a continuación.

a. Eje X (controlador DM556):

El motor NEMA 23 del eje X tiene una corriente nominal de 4 (A) por lo que los interruptores 1, 2 y 3 se posicionan de manera que esta corriente sea la máxima, el interruptor 4 del controlador se posiciona en off para que se suministre la mitad de corriente.

La cantidad de pulsos por revolución (Pulsos/revolución) se configura en 400 al ser el menor control de micro pasos ya que de esta manera el motor tiene un rango más amplio de velocidades por la placa controladora y la resolución que se alcanza junto al sistema de posicionamiento es de 0,00375 mm siendo suficiente para las características de la máquina.

b. Eje Z (Controlador DMA860H):

El motor NEMA 34 se usará en conexión en serie por lo que la corriente nominal a usar en el motor es de 4 (A).

De igual manera que en el eje X se configuran los pulsos por revolución en 400 teniendo una resolución de 0,005 mm de manera electrónica, siendo suficiente para la máquina. En ambos casos esta resolución es solo teórica ya que considera el movimiento de la máquina con 1 pulso, por lo que la precisión real se alcanza junto a los componentes mecánicos.

4.3.3 Configuración de Software para la placa controladora

Luego de instalar mach 3 se generarán 4 enlaces directos del software, mach3 mill, mach3 turn, mach 3 plasma y mach 3 loader. Este último permite seleccionar un perfil de entrada para las anteriores opciones mencionadas, guardando una configuración de trabajo personalizada.

En mach 3 es necesario instalar el complemento (plug in) de la placa para que la reconozca, este es un archivo que contiene las funciones necesarias para poder controlar la placa.

RNRmotion.dll

Este archivo se copia en la carpeta “plug in” de mach 3 la cual está en la dirección: C:/Users/ProgramFiles/Mach3/Plugins. Con estos pasos al iniciar en mach 3 en cualquiera de sus módulos de trabajo se podrá seleccionar la placa controladora, ya que el software la reconoce, como se muestra en la Figura 66.

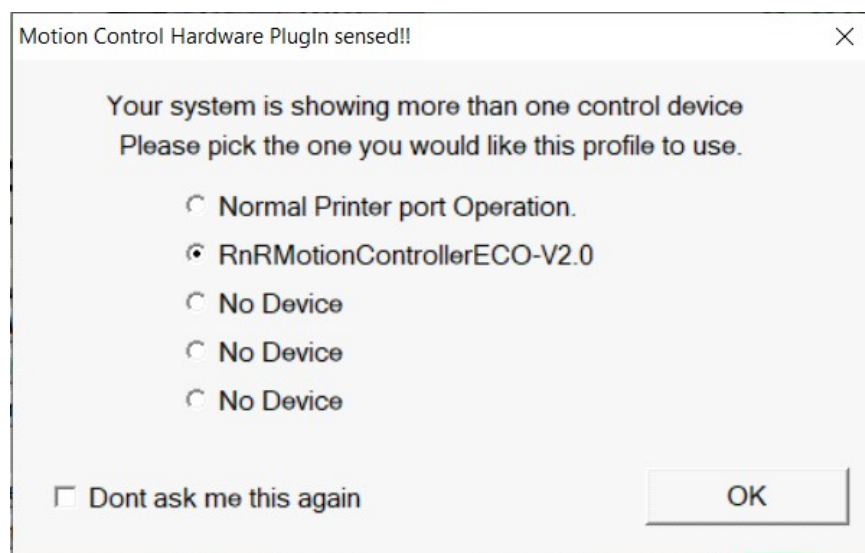


Figura 66. Ventana de reconocimiento de la placa controladora y máquinas conectadas al computador.

c. Configuración de perfil de trabajo

Para la configuración del perfil se siguen los siguientes pasos.

- Paso 1: Creación de perfil de trabajo.

Se abre el programa en Mach3 loader, se selecciona crear un nuevo perfil, se selecciona clonar de Mach3Turn, y se nombra al nuevo perfil HQ500Torno como en la Figura 67.

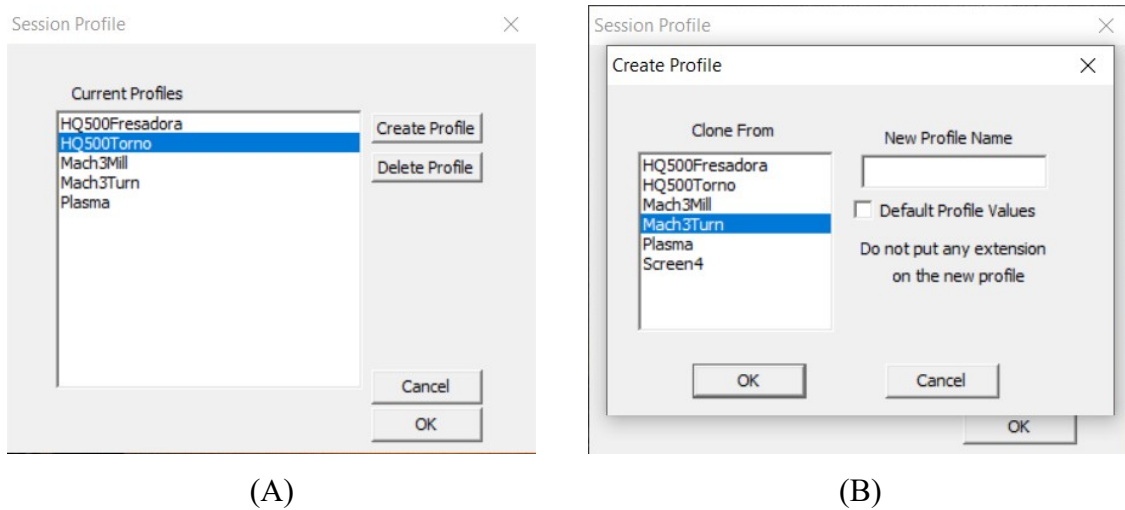


Figura 67. Ventanas emergentes al seleccionar Mach 3 Loader. (A) Ventana de inicio, (B) Ventana para crear un nuevo perfil de trabajo.

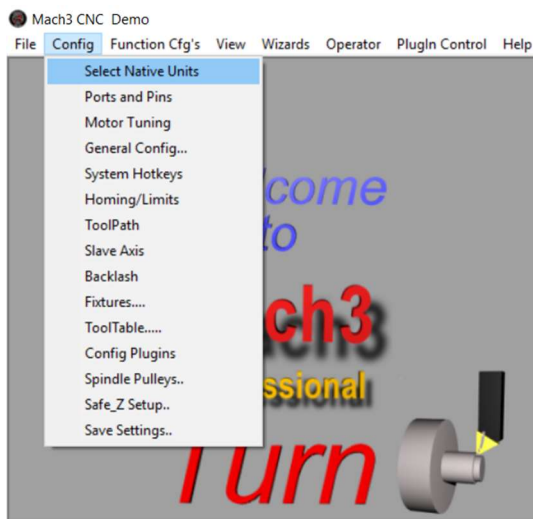
Luego de seleccionar el perfil el programa se abrirá, aquí se selecciona la placa controladora como en la Figura 66 y se ingresa a la interfaz de usuario, Figura 68:



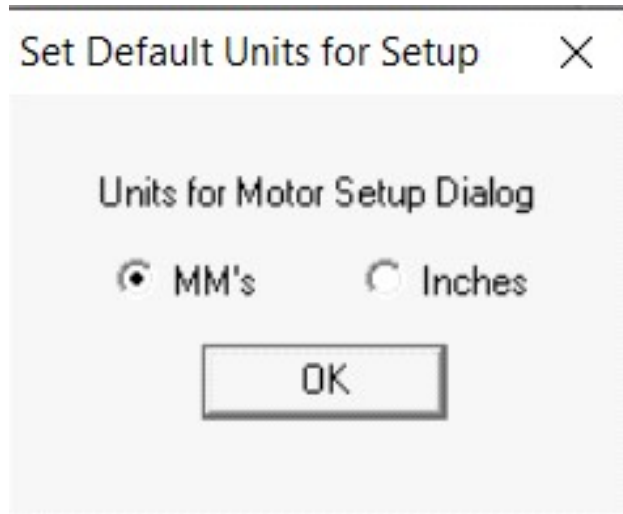
Figura 68. Interfaz inicial de trabajo de Mach 3 Turn.

- Paso 2: Configuración de unidades de trabajo

Se entra en la interfaz “config” para abrir el menú de configuración, para esto se va a “select native units” y luego se selecciona (mm), como en la Figura 69.



(A)



(B)

Figura 69. Selección de configuración de unidades de medida de trabajo (A) selección del menú de configuración, (B) selección de la unidad de trabajo.

- Paso 3: Configuración de puertos y pines.

La configuración se muestra en las siguientes imágenes.

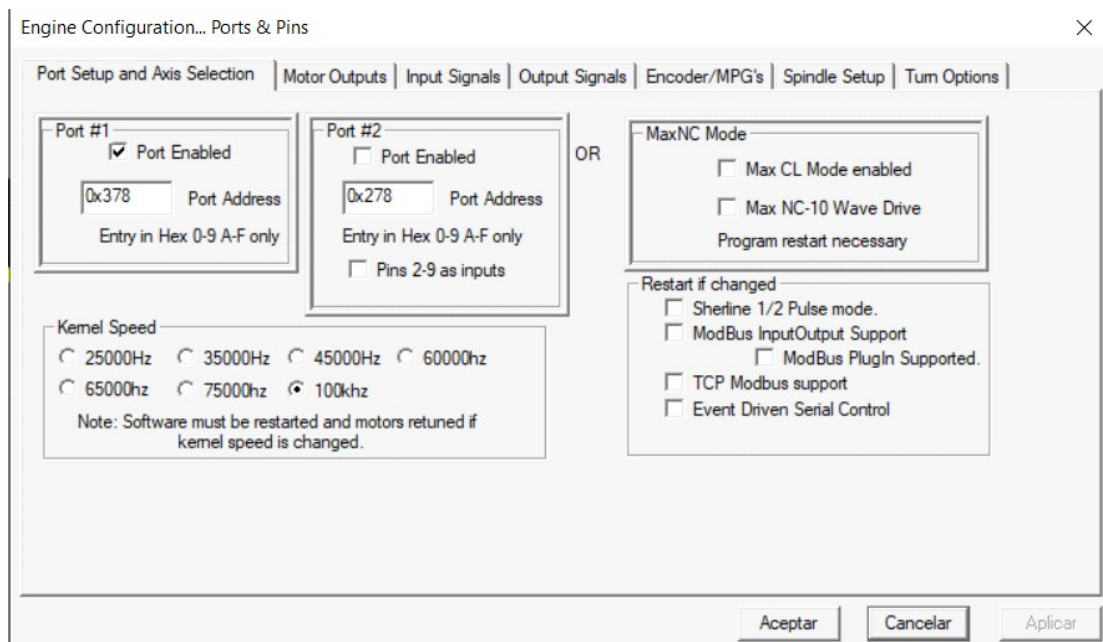


Figura 70. Configuración de puertos de Mach 3.

Se selecciona 100 KHZ para la capacidad de procesamiento (kernel speed) como se muestra en la Figura 70, esto es la capacidad de procesamiento que tiene la placa controladora.

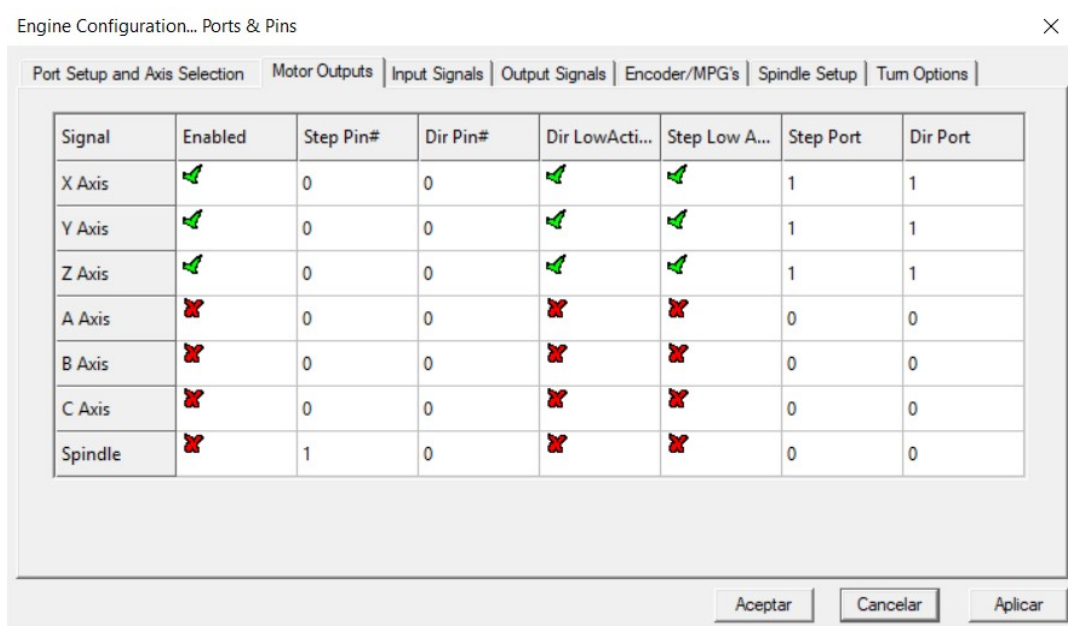


Figura 71. Configuración de salidas al motor.

En las salidas hacia los motores se habilitan los tres ejes de movimiento, Figura 71

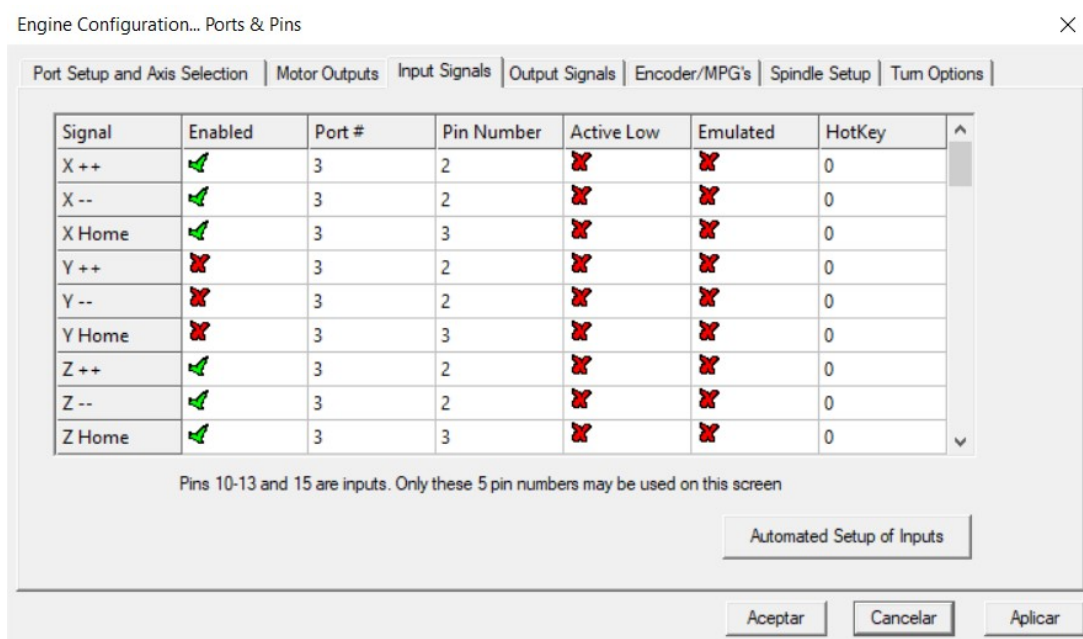


Figura 72. Configuración de señales de entrada.

En las señales de entrada se habilitan los finales de carrera para los ejes X y Z seleccionando los puertos en 3 y los números de pines en 2 que es como los reconoce la placa controladora.

De incluir finales seleccionados para un punto de partida de cero en la maquina se activan los “Home”, mostrado en la Figura 72.

Engine Configuration... Ports & Pins

Port Setup and Axis Selection | Motor Outputs | **Input Signals** | Output Signals | Encoder/MPG's | Spindle Setup | Turn Options

Signal	Enabled	Port #	Pin Number	Active Low	Emulated	HotKey
EStop		3	1			0
THC On		0	0			0
THC Up		0	0			0
THC Down		0	0			0
OEM Trig #1		3	5			0
OEM Trig #2		3	6			0
OEM Trig #3		3	7			0
OEM Trig #4		3	8			0
OEM Trig #5		0	0			0

Pins 10-13 and 15 are inputs. Only these 5 pin numbers may be used on this screen

Automated Setup of Inputs

Aceptar Cancelar Aplicar

Figura 73. Configuración de señales de entrada segunda parte.

Se habilita la parada de emergencia, mostrado en le Figura 73.

Engine Configuration... Ports & Pins

Port Setup and Axis Selection | Motor Outputs | **Input Signals** | **Output Signals** | Encoder/MPG's | Spindle Setup | Turn Options

Signal	Enabled	Port #	Pin Number	Active Low
Output #1		3	1	
Output #2		3	2	
Output #3		3	3	
Output #4		3	4	
Output #5		0	0	
Output #6		0	0	
Charge Pump		0	0	
Charge Pump2		0	0	
Current Hi/Low		0	0	
Output #7		0	0	

Pins 2 - 9 , 1, 14, 16, and 17 are output pins. No other pin numbers should be used.

Aceptar Cancelar Aplicar

Figura 74. Configuración de señales de salida tercera parte.

De manera opcional se habilita la salida del joystick, Figura 75.

Signal	Enabled	A -Port #	A -Pin #	B -Port #	B -Pin #	Counts/U...	Velocity
Encoder1		0	0	0	0	1.000000	100.000000
Encoder2		0	0	0	0	1.000000	100.000000
Encoder3		0	0	0	0	1.000000	100.000000
Encoder4		0	0	0	0	1.000000	100.000000
MPG #1		0	0	0	0	1.000000	100.000000
MPG #2		0	0	0	0	1.000000	100.000000
MPG #3		0	0	0	0	1.000000	100.000000

Figura 75. Configuración de codificadores y joysticks.

Ya que no se usará el husillo original este se deshabilita en el programa, Figura 76.

Figura 76. Configuración de husillo de potencia.

Se configura en las opciones de torneado para trabajar en radio, mostrado en la Figura 77

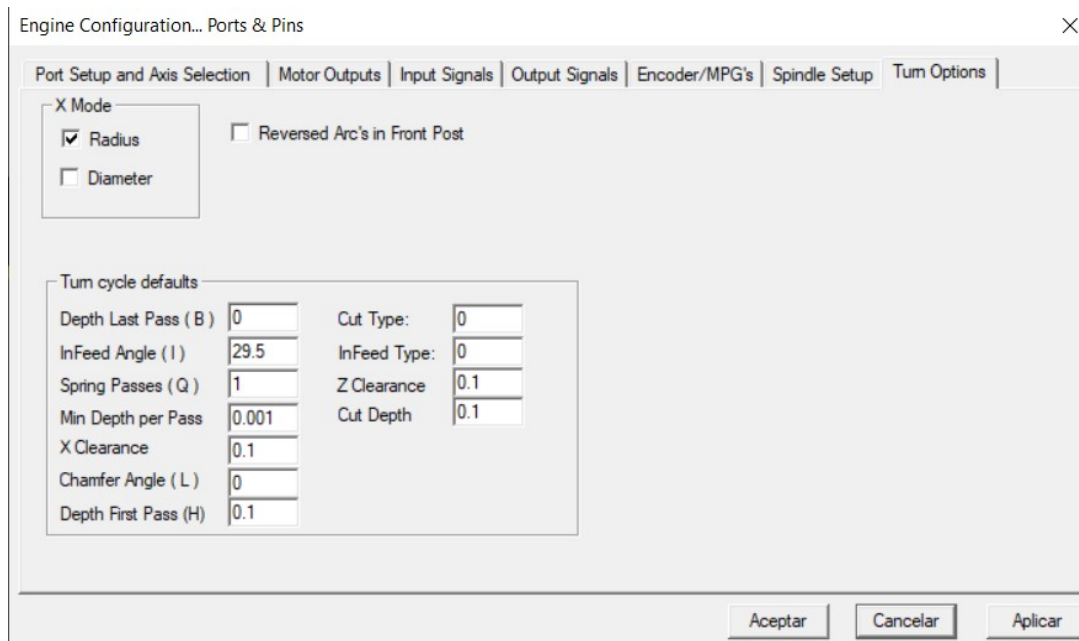


Figura 77. Configuración de trabajo del torno.

d. Configuración control de motores

Para que el software funcione correctamente con las capacidades de la máquina se deben configurar los parámetros de funcionamiento de los motores es decir el avance, la velocidad y la aceleración. Para ellos se selecciona en la opción “motor tuning”, que abre la siguiente interfaz de usuario para la configuración.

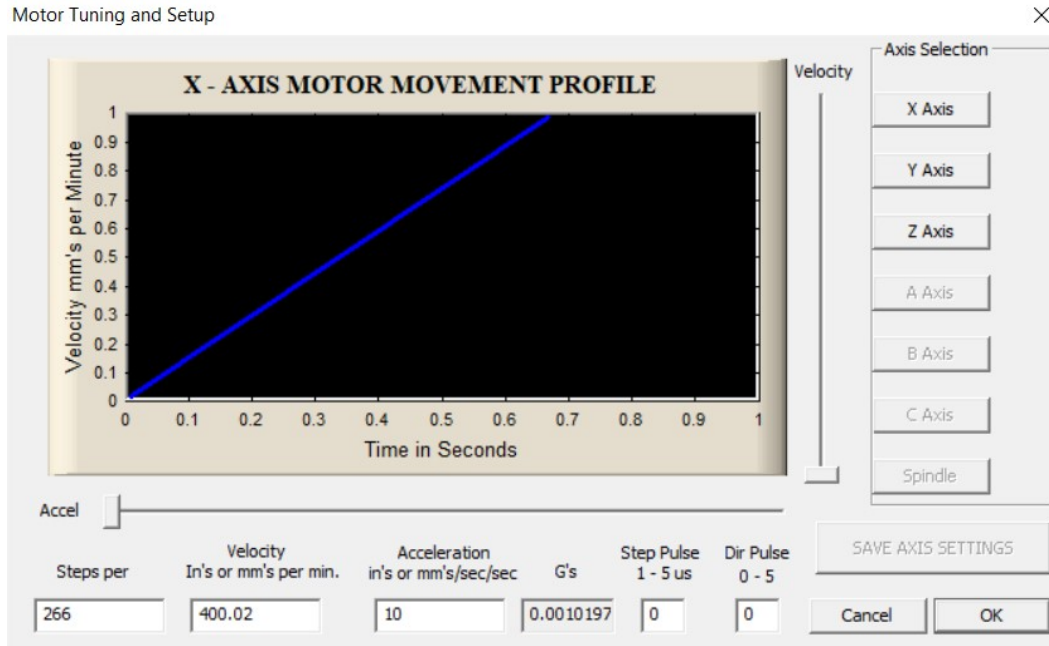


Figura 78. Interfaz de configuración de los motores.

Como se muestra en la Figura 78, los parámetros a configurar son:

- Avance por pulsos (mm/pulso):

Este parámetro se refiere a la cantidad de mm que avanza la máquina por cada pulso que es entregado por la placa controladora. Se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{\text{Avance}}{\text{Pulso}} = \frac{\frac{\text{Pulsos}}{\text{Revolución}}}{\frac{\text{Avance}}{\text{Revolución}}} \quad (38)$$

En donde los pulsos por revolución son configurados previamente en el controlador del motor, mediante los interruptores de control de micro pasos, estos se dejaron en 400 (pulsos/rev) para ambos ejes.

El avance por revolución es entregado por el sistema de transmisión de la máquina, correspondiendo a cuantos mm se desplaza por cada revolución completa del motor, en este caso el valor es igual a la mitad del paso del tornillo de potencia debido a la transmisión de correa. Se calcula para ambos ejes:

Eje X:

$$\frac{Pulsos}{avance} = \frac{400 \left(\frac{pulsos}{rev} \right)}{1,5 \left(\frac{mm}{rev} \right)} = 266,66 \left(\frac{mm}{rev} \right)$$

Eje Z:

$$\frac{Pulsos}{avance} = \frac{400 \left(\frac{pulsos}{rev} \right)}{2 \left(\frac{mm}{rev} \right)} = 200 \left(\frac{mm}{rev} \right)$$

De tener los pasos por unidad mal configurados ya sea por software o hardware, la máquina no se desplazará en las unidades indicadas por el programa, por lo que no tendría precisión y afectaría además en los parámetros de velocidad y aceleración.

- Velocidad:

Este parámetro a configurar corresponde al avance máximo permitido por el software, a través de la interfaz de usuario del programa se puede seleccionar un porcentaje de este avance para los movimientos manuales de la máquina a través del software, siendo la velocidad por defecto que tendrían los carros principal y transversal.

El avance máximo de la máquina está condicionado por la cantidad de pulsos por segundos que puede entregar la placa controladora, es decir a cuantos HZ trabaja, y por la cantidad de pulsos por segundos que está consumiendo el controlador del motor, para calcular este parámetro primero se calculan las revoluciones por minuto máximas a las que pueden girar los motores con la placa controladora seleccionada:

$$RPM = 60 \frac{HZ \left(\frac{pulsos}{s} \right)}{\left(X \left(\frac{Pulsos}{rev} \right) + Z \left(\frac{Pulsos}{rv} \right) \right)} \quad (39)$$

En donde: HZ es la cantidad de pulsos por segundo que controla la placa controladora.

X (pulsos/rev): es la cantidad de pulsos por revolución configurada en el controlador del motor del eje x.

Z (pulsos/rev): es la cantidad de pulsos por revolución configurada en el motor del eje z.

Al reemplazar los valores se obtiene:

$$RPM = 7500 \left(\frac{rev}{min} \right)$$

De moverse un solo eje, este no se considera en la Ecuación 39.

Es importante destacar que este valor de revoluciones por minuto solo corresponde a un valor electrónico teórico, ya que en la práctica los motores se mueven con carga y se debe considerar la curva de torque velocidad de los motores.

Para determinar el valor a configurar de la velocidad de los motores se debe probar la máquina con y sin carga para ver el mejor rango de funcionamiento.

De tener la velocidad configurada muy alta debido a la curva torque velocidad del motor, este pierde mucho torque pudiendo no mover al sistema de posicionamiento y de ser muy baja el motor no funcionaría en su estado óptimo.

- Aceleración:

Este parámetro corresponde a la demora del motor en alcanzar la velocidad enviada en el código del programa, este parámetro se debe probar en la máquina con y sin carga para ajustar un movimiento fluido sin pérdida de pasos.

De tener configurada la aceleración del motor muy alta este puede trabarse y dar saltos al querer moverse más rápido de lo que le permite el hardware, perdiendo precisión y fuerza en el movimiento, de ser muy baja el motor puede no avanzar y ambos casos el motor se sobrecalentaría.

4.4 Resultado de la Conversión

4.4.1 Preparación para el trabajo.

Antes de comenzar se debe verificar si la máquina se encuentra desenergizada y si los botones de parada de emergencia y finales de carrera están activados.

Primero hay que montar firmemente la pieza de trabajo a mecanizar en el cabezal fijo de la máquina. Luego debe montarse la herramienta de trabajo en la torreta, verificando con la contrapunta de que esta se halle en el plano de trabajo para torneear (plano que contiene al eje de giro y al desplazamiento de la herramienta).

Para configurar la velocidad de corte que se debe entrar a la caja de transmisión de la máquina y ajustar las correas para las revoluciones por minuto necesarias, para esto se sigue lo mostrado en la Figura 8 de la sección 2.1.1.

Existen dos marcos de referencia importantes al momento de trabajar con la máquina, el primero es el origen de la máquina el cual hace referencia a un punto físico en la máquina en donde se definen los ejes de la máquina.

El segundo corresponde al marco de referencia de trabajo, este se refiere a un punto dentro de los límites de movimiento de la máquina en donde se reconoce la posición de la pieza de trabajo, y se define un origen en base a su ubicación, luego dependiendo del control que se realice en la máquina los movimientos relativos entre la pieza y herramienta de trabajo pueden ser absolutos o incrementales, para el mecanizado.

Existen sondas para reconocer la ubicación de la pieza, la cual no es incorporada en esta conversión, en cambio, se explica a continuación el método para marcar cero de trabajo en las coordenadas de la máquina.

Eje X: este corresponde al movimiento radial de la herramienta (movimiento del carro transversal), dependiendo de cómo se vaya a trabajar con el código se configura la posición.

Piezas en voladizo: se sugiere acercar la herramienta de trabajo hacia la punta de la contrapunta de tal manera de quedar en el eje de giro y marcar la posición como cero de trabajo.

Piezas con contrapunta: se sugiere rozar con la herramienta de trabajo la superficie más externa (de mayor diámetro) de la pieza de trabajo y marcar la posición como cero de trabajo.

Eje Z: este corresponde al movimiento longitudinal de la herramienta (movimiento carro principal), se sugiere acercar la herramienta de trabajo hasta rozar la pieza de trabajo por su cara más alejada del cabezal fijo y marcar la posición como cero de trabajo.

Para marcar los ceros en los ejes X y Z la herramienta puede acercarse tanto manualmente antes de iniciar el control numérico, o con movimientos generados por el software. En la Figura 79 se marcan donde se configura el cero de trabajo.

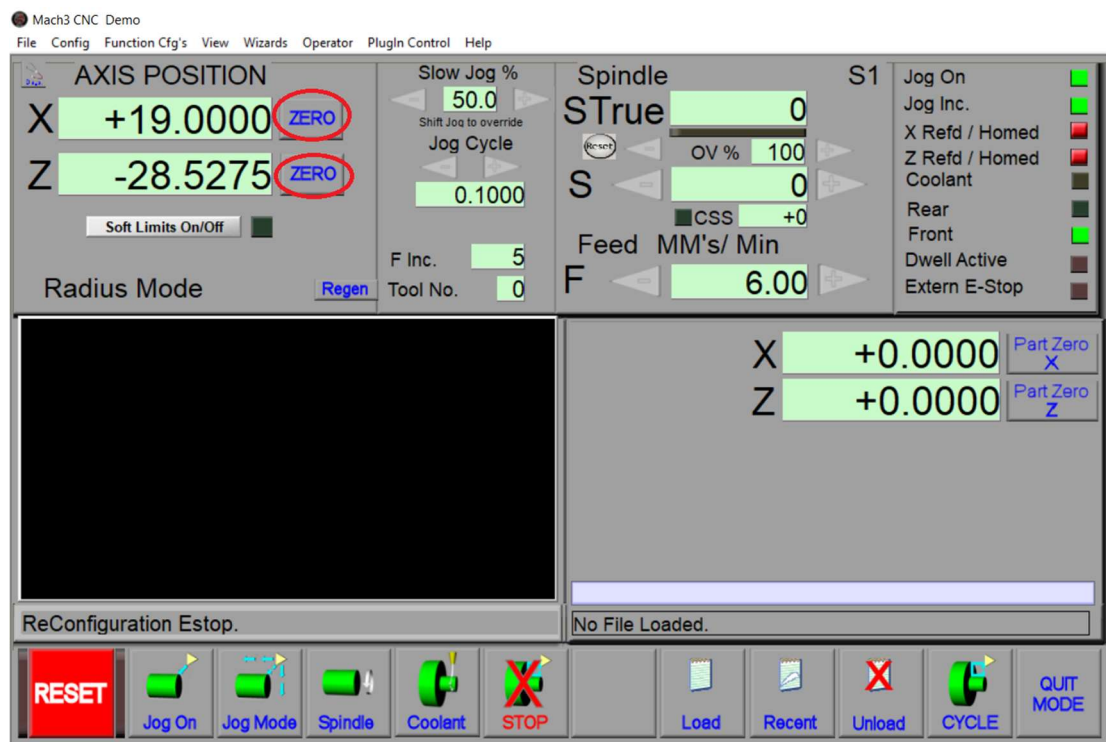


Figura 79. Interfaz de operación Mach 3 turn, los botones de marcar en cero se muestran en círculos rojos.

- Trabajo con código creado previamente:

Para cargar un código creado previamente en algún otro programa CAD/CAM se debe ingresar al módulo manual del perfil creado en Mach 3 Turn, y seleccionar la opción cargar (load), que abrirá una ventana del buscador de archivos en donde se selecciona y se carga el archivo de trabajo.

Antes de empezar el trabajo se debe de comprobar que el cero que reconocer la máquina sea el cero de trabajo y que sea el mismo en el que trabaja el código. Además, es importante configurar en la opción de puertos y pines si el código fue creado para trabajar en el diámetro o en el radio.

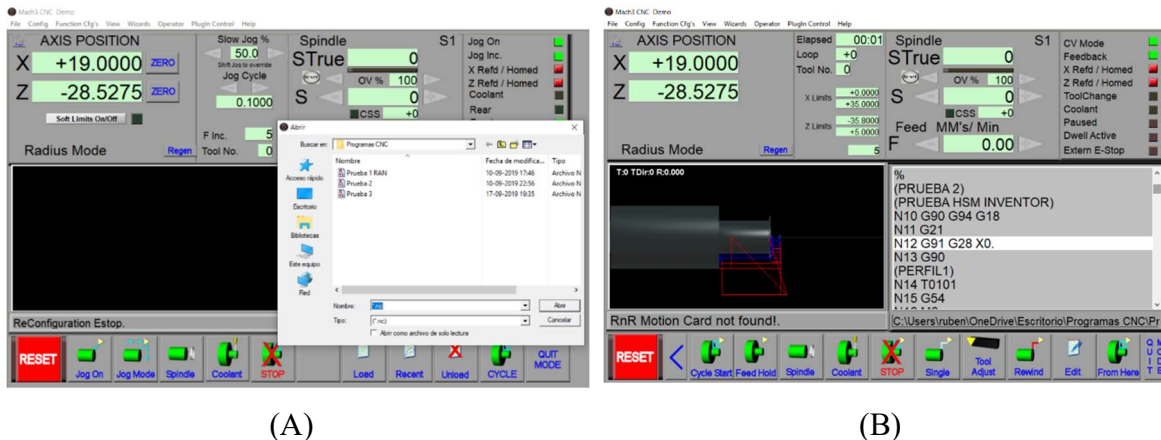


Figura 80. Interfaz para trabajar con código CAD/CAM. (A) buscador de archivos (B) visualización de la trayectoria de mecanizado del código.

Al cargar un código este se visualizará en la pantalla, las líneas rojas de la imagen muestran la trayectoria que seguirá la herramienta, mientras que a la derecha se verá la línea de código que está en proceso.

El dominio de archivo con el que trabaja Mach 3 es “nc” el cual puede generarse con el módulo de inventor HSM.

4.4.2 Pruebas de funcionamiento en vacío

- Accionamiento de finales de carrera y botón de parada de emergencia

Para verificar que los finales de carrera y la parada de emergencia funcionaran luego de configurar los controladores de los motores y la habilitar la función en el software, se cargó el código de una operación de cilindrado y se accionaron manualmente los finales de carrera y el botón de parada de emergencia resultando en su correcto funcionamiento.

Al probar iniciar el código de mecanizado con los interruptores accionados o el botón de parada de emergencia el programa advierte que están activados.

- Velocidades de los motores

Para configurar este parámetro se prueba de manera manual la velocidad de avance de los carros, partiendo desde los 100 (mm/min) y aumentando de 100 en 100 probando la fuerza de movimiento del carro manualmente con las manivelas y directamente viendo la oposición lineal en los carros de movimiento.

En el mecanizado la velocidad de avance suele ser bastante baja en relación a los movimientos en vacío, ya que depende de la resistencia que oponga el material de trabajo, así como también de la velocidad de corte a la que se está trabajando.

Al realizar las pruebas se encuentra que la tensión de la correa aumenta con la velocidad, teniendo riesgo de trepamiento para velocidades muy altas, por ello se deja la velocidad en 400 (mm/min).

- Aceleración de los motores

La aceleración de los motores se prueba de 10 en 10 para ver la reacción de los motores de pasos, esto en conjunto con la respuesta a la velocidad, y la capacidad de la correa para mantener su posición.

La configuración final de los motores se muestra a continuación en las Figuras 81 y 82:

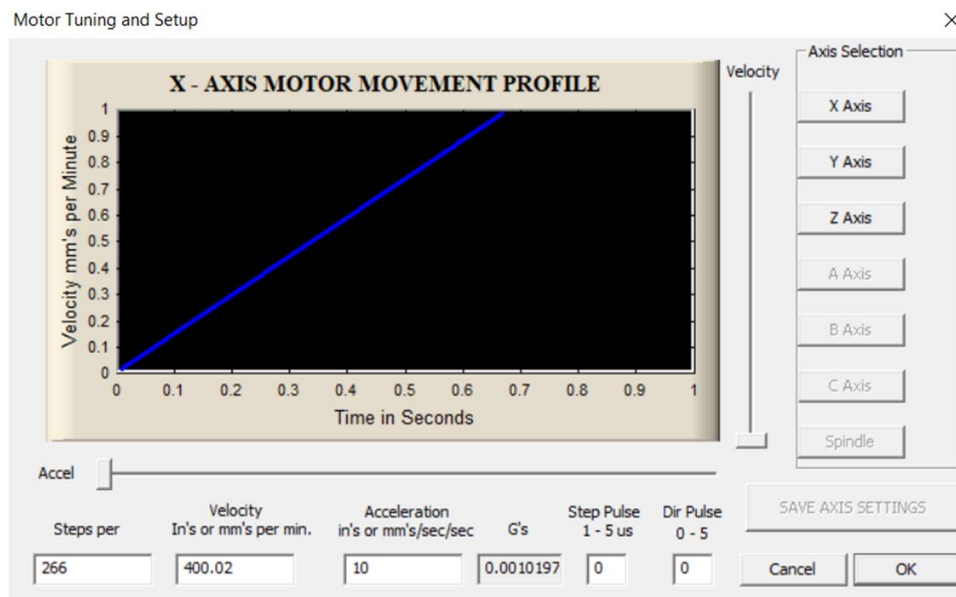


Figura 81. Parámetros de configuración para el motor NEMA 23 del eje X.

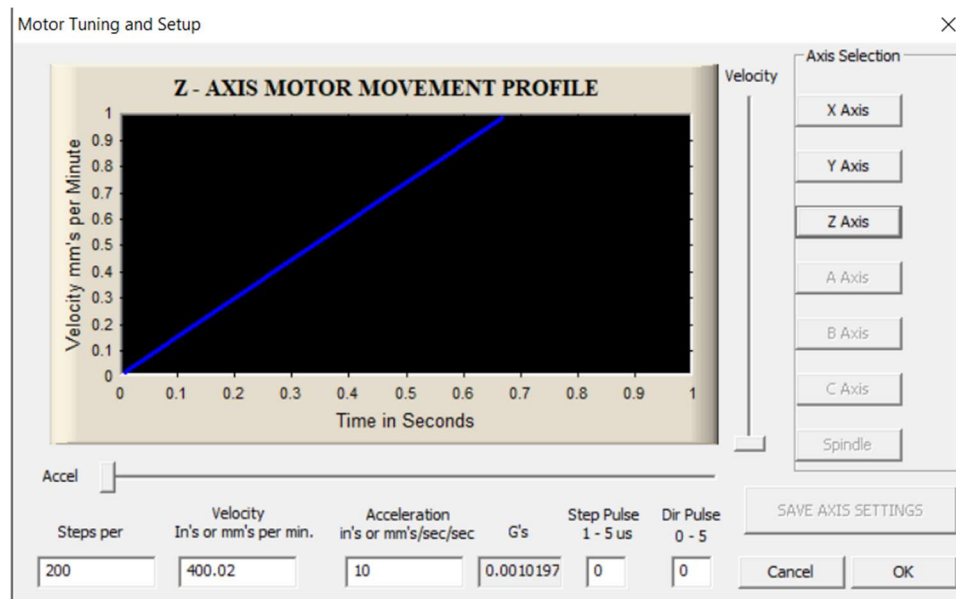


Figura 82. Parámetros de configuración para el motor NEMA 34 del eje Z.

Los apartados de paso de pulso y dirección de pulso se dejan en 0 ya que no afectan en el movimiento de los motores.

4.4.3 Capacidades finales y observaciones

La máquina al ser modificada puede procesar códigos creados y programación manual en la interfaz de usuario, el dominio de código es “.nc” ya que es de lectura para Mach 3, los finales de carrera pueden ajustarse para algún trabajo repetitivo planeado, habilitando la función de “homming” para ubicarse siempre en un mismo punto del espacio, así como también para trabajar de manera personalizada dependiendo del código creado explicado en la sección 4.5.1.

Los valores de rpm para la velocidad de corte quedan condicionados por la transmisión mecánica original de la máquina.

Observaciones:

1. Debido a la inclusión de los soportes de los motores y los sistemas anti retroceso se tiene una disminución del rango de trabajo, de aproximadamente de 40 mm para el eje X y de 100 mm para el eje Z.
2. Los elementos de unión son los componentes clave en la conversión, siendo los más relevantes los pernos prisioneros que permiten la unión entre las ruedas de sincronización con los ejes de los tornillos motrices y de los motores, estos funcionan a su vez de fusibles mecánicos (o chavetas).
3. La correa de sincronización aguanta las desviaciones posibles entre los ejes de los motores y los tornillos motrices, pero tiene riesgo trepamiento.

Mejoras posibles:

1. Colocar ruedas en la base de la máquina para un mejor desplazamiento de la misma.
2. Aislar la máquina para evitar el contacto con el operario mediante paneles de acrílico.

3. Conexión de motores con sus controladores mediante un acoplamiento electrónico.
4. Cambiar transmisión de rosca de potencia por husillo de bolas, ya que debido al chavetero de los tornillos motrices la tuerca podría perder su precisión.
5. Cambiar motor de potencia de pieza a un variador de frecuencia controlador por la placa controladora.
6. Incluir tensores por rodamientos en la correa de transmisión para evitar que trepe por la rueda dentada.

4.5 Manual de Conversión Equipo manual a CNC

A fin de condensar los pasos realizados en la conversión y luego de un análisis crítico del trabajo se presenta una metodología de conversión general de un equipo manual a control numérico computarizado.

Pasos a realizar:

a. Levantamiento de datos:

En este paso se junta la información necesaria para realizar el proyecto, se deben reconocer el estado actual del equipo a convertir, las características que se quieren alcanzar en un resultado final, identificar las restricciones del trabajo, el presupuesto con el que se cuenta, y toda información que se estime conveniente.

b. Selección de componentes:

Con el objetivo de seleccionar los componentes adecuados que se ajusten a las necesidades de implementación propuestos (objetivos deseados a cumplir) se propone seguir el diagrama de flujo mostrado en la Figura 11.

c. Diseño de adaptadores:

El diseño de los adaptadores debe incluir los siguientes aspectos mostrados en la sección 4.1:

- Definir necesidades de diseño.
- Estudio de incorporación.
- Realizar propuesta de diseño.
- Definir pasos de fabricación.
- Comprobación del diseño.

d. Estudio de pre factibilidad técnica:

El objetivo de este paso es ver si la máquina puede ser convertida a control numérico, para ello se debe realizar un estudio del equipo a convertir, verificando que tenga los componentes necesarios para funcionar y que estos se encuentren en un estado óptimo de funcionamiento.

e. Construcción e incorporación de componentes:

Al momento de la construcción e incorporación es importante tener los pasos definidos para hacer más ágil el proceso, es decir tener los planos listos como los pasos de fabricación listo al momento de trabaja, así como los pasos de montaje necesarios a modo de tener las herramientas preparadas y eliminar tiempos muertos.

f. Configuración de electrónica y software para el propósito:

Tanto la configuración electrónica como de software debe ser la adecuada para los trabajos que se planean realizar, esto depende de los componentes seleccionados, el software de control y los programas a utilizar.

g. Pruebas y marcha blanca de la conversión:

Es importante realizar pruebas en vacío antes de probar con carga ya que muchos elementos de la incorporación podrían estar mal montados, faltos de sujeción y aquí es cuando se notan los problemas no evidentes, como la falta de lubricación, vibraciones no deseadas, faltas de ajustes y otros inconvenientes que puedan encontrarse.

CONCLUSIONES

En este capítulo se tratan las conclusiones obtenidas a lo largo del trabajo, viendo el desarrollo que se tuvo en las distintas etapas realizadas en base a los objetivos específicos planteados al inicio del proyecto.

- Estudiar el funcionamiento del equipo a convertir y las tecnologías de Control Numérico Computarizado.

En esta etapa del proyecto se estudió la función de torneado del equipo, y los parámetros que afectan al mecanizado, se destaca que, aunque todos los tornos trabajen bajo los mismos parámetros sus componentes pueden ser distintos lo que afecta al funcionamiento de la máquina y a su capacidad de ser automatizada. En la máquina la tuerca motriz del movimiento del carro principal no tiene un par que haga juego como en otros tornos más convencionales, también que muchos componentes de la máquina se encontraban haciendo más de una función como es el caso de la torreta del torno, en donde su base hace de carro auxiliar y prensa mecánica para la función de fresadora, o los tornillos motrices que tienen incorporado un chavetero para accionar el modo semiautomático.

En el control numérico existen softwares especializados para distintos propósitos, además estos deben tener compatibilidad con el hardware de control de la máquina. también existe hardware especializado para distintos fines, como lo es el sistema de transmisión de poleas y correas de las cortadoras láser, que se especializan en velocidad más que en fuerza o los sistemas de transmisión por tornillo motriz de fresadoras y tornos CNC, que priorizan la fuerza antes que la velocidad.

- Especificar y evaluar variables en el proceso de conversión de torneado manual a automático por CNC.

Se lograron definir las variables en la conversión con las condiciones de mecanizado, las capacidades originales de la máquina y las variables de los componentes.

Los parámetros de operación de una máquina de control numérico están condicionados por todos los componentes involucrados tanto del sistema de posicionamiento como de la unidad

de control, por lo que al momento de seleccionar o cambiar uno para mejorar una capacidad se debe evaluar cuál es la mejor alternativa en función del resto de componentes, además de sus propias restricciones y necesidades para ser incorporados.

- Definir la tecnología para controlar el equipo.

Se logró definir la tecnología de control a partir de las restricciones de los componentes y los objetivos deseados, planteando un diagrama de flujo a seguir para la selección.

- Diseñar e implementar sistema de control del equipo.

Se cumplió con el diseño del sistema de control el cual es de ciclo abierto, y considera las capacidades originales de la máquina.

Al momento de diseñar se deben tener siempre presentes los objetivos planteados, reconocer necesidades a satisfacer y las restricciones presentes, es necesario también tener retroalimentaciones en el proceso de diseño ya que las decisiones que se toman pueden afectar un proceso anterior, o un proceso anterior puede mejorar una decisión futura.

En el diseño de componentes no comerciales se debe tener presente la fabricación en el diseño ya que, es más fácil adaptar el diseño a los medios de fabricación disponibles que adaptar la fabricación al diseño.

Al momento de implementar lo planeado se encontraron detalles en los diseños los cuales debieron ser rediseñados por diversos motivos, esto sirvió como una retroalimentación al proceso de diseño, esta debe de hacerse en lo posible antes de comenzar a mecanizar, los principales aspectos que afectaron en esto fueron puestos en la metodología de conversión y se destaca al incorporar elementos a una máquina previamente construida se debe tener presente la limitación tanto dimensional de la máquina como aquello que afecte su funcionamiento, los componentes incluidos deben funcionar en armonía con la máquina.

- Implementar una metodología paso a paso para conversión de un equipo manual a Control Numérico Computarizado.

Se logró realizar una metodología que contiene los pasos para llegar a una buena conversión de una máquina herramienta manual a control numérico, estos pasos fueron el resultado del trabajo en su totalidad con las retroalimentaciones en las distintas etapas intermedias.

ANEXOS

A Información de los componentes

A.1 Motores:

a. Motores paso a paso:

Los motores paso a paso son motores de corriente continua que controlan el giro mediante una serie de pulsos que mueven una determinada cantidad de pasos (arcos de circunferencia) al energizar múltiples electroimanes dentados que componen el rotor y el estator del motor, ver Figura 83. De manera general, los motores paso a paso presentan:

1. Independencia de la carga: los motores paso a paso girarán a la velocidad establecida siempre y cuando la carga no supere el torque de su capacidad.
2. Trabajan bien en sistemas de control de ciclo abierto: siempre y cuando el motor funcione en su especificación de torque, el posicionamiento del motor es conocido de forma precisa, por lo que no es necesario una retroalimentación de información.
3. Torque mantenido (holding torque): los motores paso a paso mantienen la posición de su eje mientras este energizado.
4. Buena reacción a los cambios de movimiento: tanto al inicio, a las paradas y al funcionar en reversa.
5. Libres de mantenimiento: no poseen escobillas de carbono por lo que no requieren ser cambiadas.
6. Bajo costo: para un sistema de posicionamiento suelen ser más baratos que otras opciones como lo son los servomotores.



Figura 83. Motor paso a paso.

Una forma de clasificar estos motores es por la forma en que están contruidos, teniendo:

Motores de reluctancia variable: Estos motores tienen de 3 a 5 devanados en su estator conectados a un terminal común, su funcionamiento se basa en un rotor dentado hecho de hierro dulce (bajo en carbono) en donde los dientes se alinean con el campo magnético generado en las bobinas, generando con esta alineación la ruta de menor reluctancia del rotor, esto lleva a que el número de dientes condiciona la cantidad de pasos de ángulo que tiene el motor.

- Motores de imán permanente:

El estator de estos motores puede estar compuesto por devanados unipolares, bipolares y bifilares. Su rotor está hecho de un imán permanente, el cual puede varios polos, existiendo 3 tipos de motores de imán permanente como lo son los unipolares, bipolares, bifilares e híbridos.

- Motores paso a paso unipolares:

Estos motores están compuestos de dos devanados en donde las tomas centrales están fuera del motor por dos cables (o 1 que combine a los dos) conectados a la fuente de poder y los extremos de las bobinas a tierra, por lo que estos motores tienen de 5 a 6 cables (ver Figura 84), así la configuración permite que los devanados funcionen a mitades. Su principio de

funcionamiento se basa en los campos magnéticos controlados por la corriente que ingresa en los devanados, los cuales atraen a los campos magnéticos de los imanes permanentes del rotor.

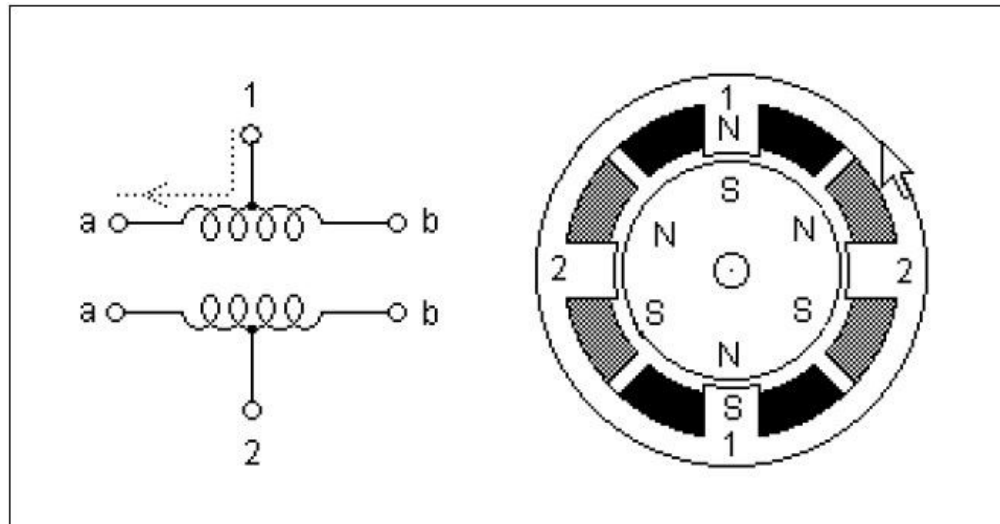


Figura 84. Motor unipolar.

- Motores paso a paso bipolares:

Estos motores están compuestos de dos devanados y a diferencia de los unipolares no tienen terminales centrales (teniendo 4 cables, ver Figura 85), así se obtiene la ventaja que la corriente recorre todo el devanado en lugar de la mitad con ello produciendo más torque, consumiendo más energía y haciendo más complejo su control.

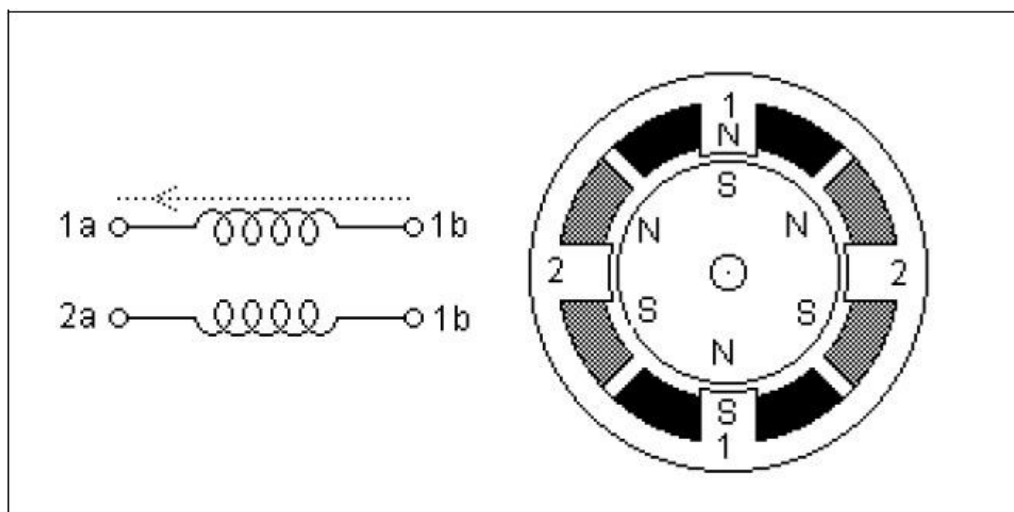


Figura 85. Motor bipolar.

- Motores paso a paso bifilares:

Estos motores son idénticos a los motores bipolares, pero la diferencia es que cada devanado está formado por dos cables enrollados paralelos entre sí, por lo que tienen 8 cables, ver Figura 86. Los motores bifilares pueden accionarse tanto como motores unipolares como bipolares, dependiendo de cómo sea la configuración de los cables de los devanados.

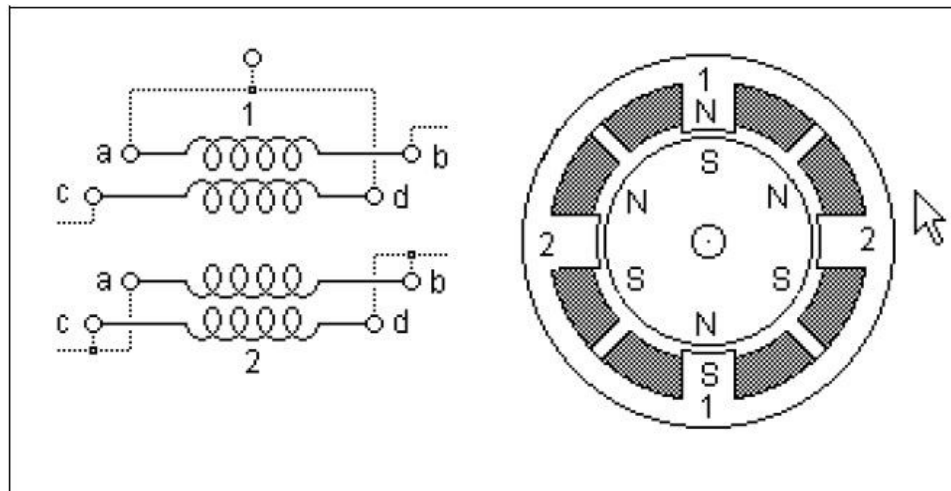


Figura 86. Motor bifilar.

- Motores híbridos:

Combina aspectos de ambos motores de imán permanente y de reluctancia variable. Su rotor es dentado y además está magnetizado axialmente alrededor de su eje, ver Figura 87, los dientes del rotor ayudan al camino del flujo magnético, el eje magnético incrementa el torque que puede realizar el motor y aumenta la precisión que se puede alcanzar con ellos. Los motores híbridos pueden ser operados como unipolares o bipolares dependiendo de la configuración que se tenga.

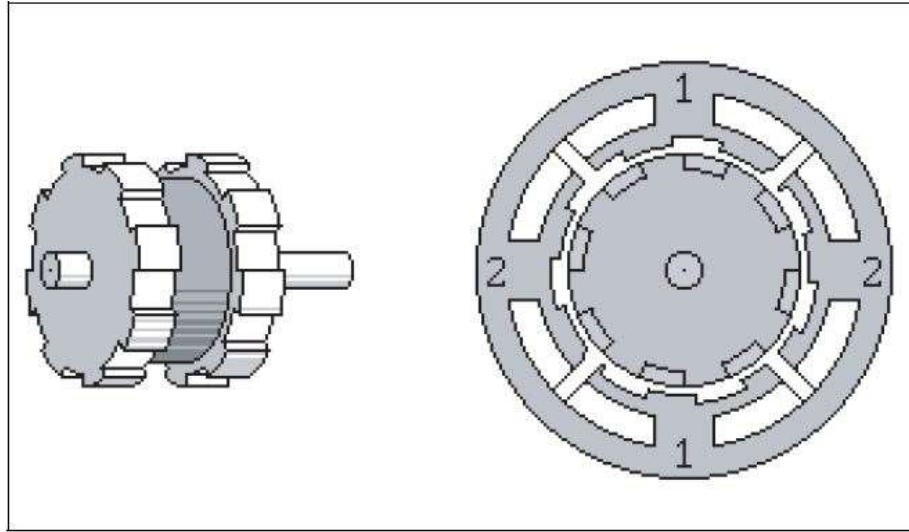


Figura 87. Motor paso a paso híbrido.

Existen además motores paso a paso que cuentan con una mayor cantidad de cables, teniendo dos casos, uno en donde se aumenta la cantidad de bobinas y dependiendo de la conexión que se realice se puede convertir en un motor paso a paso unipolar o bipolar, en serie o paralelo. Y los otros motores de mayor cantidad de cables son aquellos que vienen con las bobinas seccionadas para poder ajustar la capacidad de torque final del motor dependiendo de la necesidad que se tenga.

En los motores paso a paso se pueden identificar distintos tipos de torque, estos son:

5. Torque mantenido (Holding- torque): este es el torque que mantiene al motor en su posición frente a un cambio de giro cuando este se encuentra energizado.
6. Torque de entrada (Pull in torque): Es el torque contra el cual un motor puede acelerar desde el reposo sin perder ningún paso, cuando se maneja a una velocidad de paso constante.
7. Torque de salida (Pull out torque): Es la carga que puede mover el motor cuando esta la velocidad de operación.
8. Torque detenido (Detent torque): es el torque necesario para mover el eje del motor cuando este no se encuentra energizado.

A diferencia de los motores de corriente continua, los motores paso a paso tienen mayor torque en reposo que en movimiento, el cual van perdiendo a medida aumenta la velocidad de giro, esto se puede ver en el gráfico de la Figura 88:

FIGURE 6: TORQUE VS. SPEED

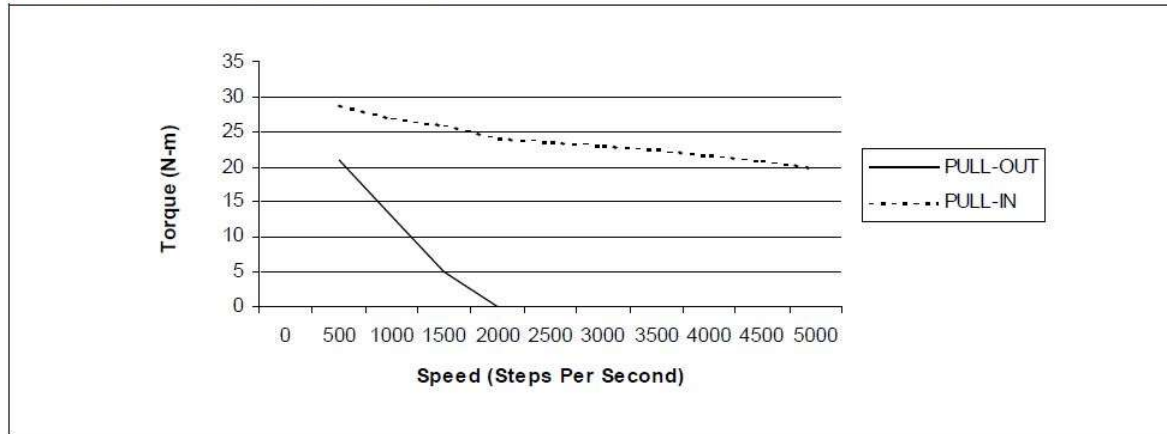


Figura 88. Gráfica de torque vs velocidad de un motor paso a paso.

En el gráfico también puede verse que el torque de salida es menor que el torque de entrada. La resolución de un motor paso a paso está dada por la cantidad de pasos (grados) que debe dar para poder completar una vuelta.

Los motores paso a paso quedan restringidos por la corriente que soportan, la cual es aprovechada para generar un campo electromagnético que resulta en el torque que se aplica. Recorriendo los pasos por los pulsos entregados [23].

Al momento de seleccionar un motor paso a paso se deben tener en cuenta las siguientes características para su aplicación:

1. cantidad de grados por paso que avanza el motor: esta característica determinará la precisión que podrá alcanzar la máquina final.
2. Torque: el torque necesario elegido dependerá de la carga a mover, la cual se debe estimar.
3. Corriente máxima que soporta el motor: no se debe sobrepasar ya que puede dañar al motor.

Los motores paso a paso son usualmente utilizados en sistemas de ciclo abierto ya que no poseen retroalimentación y se puede estar seguro de la posición en que se encontrara si trabaja en las condiciones adecuadas.

h. Servomotores:

Los servomotores son actuadores mecánicos que se componen principalmente de tres subcomponentes, un motor eléctrico, un circuito controlador de movimiento y un dispositivo de retroalimentación, ver Figura 89. Existen tres tipos de servomotores, de acuerdo a la corriente con la que trabajan, los servomotores de corriente continua, los síncronos de corriente alterna y los de inducción de corriente alterna.



Figura 89. Servomotor de codificador con salida de puerto serial.

- Servomotores de corriente continua (CC):

En estos motores el estator sirve de soporte estructural para el motor, tiene forma cilíndrica, y tiene un imán permanente pegado en su cara interior. El rotor está compuesto de un eje embobinado que se energiza mediante una escobilla de fricción.

En estos motores el control es sencillo ya que el torque es directamente proporcional a la corriente suministrada al motor, teniendo solo la limitante de la temperatura de falla de las bobinas del estator por la circulación de corriente continua. Debido a la corriente con la que

opera estos motores requieren de cambio en las escobillas conductoras, pero también reduce su costo en comparación a otros servomotores, entregando un amplio rango de velocidades y torque. Otra característica importante de estos motores es que pueden prescindir de la retroalimentación al poder controlar la posición de manera precisa.

- Servomotores síncronos de corriente alterna (CA):

El estator de este motor tiene forma cilíndrica y el embobinado se enrolla alrededor del núcleo del estator y se alimenta directamente desde la corriente. El rotor está compuesto un imán permanente alrededor del eje. Debido a su construcción estos motores pueden alcanzar mayor torque a altas velocidades ya que se puede enfriar de mejor manera las bobinas mientras trabaja. También estos motores no tienen límite de velocidad por chispa de rectificación, que es un fenómeno que ocurre en los motores con escobillas de carbón.

En estos motores el torque es directamente proporcional a la contribución de la armadura, y tiene buena respuesta a la parada de emergencia es buena al aplicar un freno dinámico, pero es necesaria la inclusión de la retroalimentación, de no ser así no se puede completar el giro.

- Servomotores de inductancia (CA):

La estructura de estos motores está basada en los motores de inducción, el estator y el rotor están embobinados, cuando la corriente circula por las bobinas del estator inducen corriente en las bobinas del rotor, lo que provoca el torque del motor. Estos motores son de estructura simple y no necesitan necesariamente una retroalimentación para controlar el giro. Debido a que el flujo de corriente disminuye constantemente durante la detención del motor, es imposible colocar un freno dinámico.

Estos tipos de servomotores se muestran en la Figura 90.

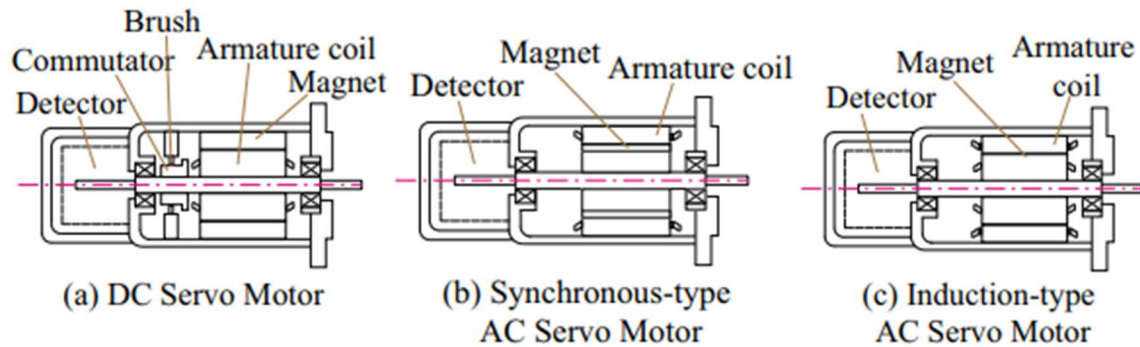


Figura 90. Tipos de servomotores.

El control de los Servomotores se basa en señales PWM (Modulación por ancho de pulso), esto significa que la cantidad de grados que gire el eje del motor está dada por la duración del pulso que se le entregue al motor.

- Codificadores:

La retroalimentación de los servomotores es proporcionada por los codificadores que convierten una señal de interés, generalmente la velocidad, la aceleración, y la posición de giro, a una señal electrónica que cierra el ciclo. Estos están habitualmente instalados dentro del motor o en su parte posterior.

Al momento de seleccionar un servomotor se deben considerar las condiciones de operación tanto para el cálculo del torque como de la velocidad que en operación.

Además, se debe tener presente que se debe contar con un sistema que pueda trabajar con la retroalimentación dada por el codificador de señal, ya que de no contarse con el adecuado se pierde la precisión del movimiento. [24]

A.2 Transmisión de potencia

Las alternativas encontradas son:

- Husillo de bolas rodantes.
- Husillo de rosca de potencia.
- Rueda dentada cremallera.

a. Husillo de bolas Rodantes:

El husillo de bolas consiste en un eje de rosca circular que sirve de camino para un rodamiento de bolas, las cuales recirculan en una tuerca que es la que se mueve con el giro del husillo, como se muestra en la Figura 91.



Figura 91. Husillo de bolas re circulantes

Los husillos de bolas se pueden clasificar de acuerdo al tipo de recirculación que tienen, esta puede ser tanto interna como externa, en la primera se tienen unos topes que se encargan de guiar a las bolas de un paso del husillo a otro para que puedan recircular o mediante una guía corredera dentro de la tuerca que reacomoda a las bolas al principio de la tuerca, y en el segundo se tiene un conducto externo por el cual se desplazan las bolas retornando al inicio al terminar su carrera a través de la superficie entre la tuerca y el tornillo, es por esto que los husillos de bolas presentan características comunes a los rodamientos de bolas.

Debido a sus características el husillo de bolas presenta grandes ventajas a la hora de mecanizar ya que prácticamente no cuenta con retroceso en el proceso de mecanizado al reducir el juego presente entre tuerca y husillo, reduce en gran medida las perdidas por fricción al rodar las bolas en lugar de deslizar por las superficies, también presenta una mejor respuesta al empuje que se realiza en la tuerca ya que el esfuerzo está repartido entre todas

las bolas que componen el sistema. A continuación, se detallan aspectos importantes en el funcionamiento de este componente.

Retroceso no deseado: si se tiene una baja sujeción de la tuerca y el eje del husillo se desplaza, debido a la baja fricción que existe entre la tuerca y el tornillo, la tuerca puede girar y devolverse.

Límite de velocidad permisible: Es la velocidad que no puede superar el husillo de bolas ya que deteriora la vida del componente y la tuerca puede bloquearse, generalmente es la velocidad máxima de recirculación de las bolas en la tuerca, se expresa como el producto entre las revoluciones por minuto y el diámetro nominal del eje del husillo.

Precarga y Precisión requeridas: Dependiendo de la necesidad de precisión en el trabajo se puede aplicar una precarga entre dos medias tuercas de bolas, apretándolas o separándolas, esto reduce el juego axial existente entre la tuerca y el tornillo, pero también aumenta la rigidez del husillo.

Además, para evitar problemas en la operación con este tipo de husillo se debe procurar: realizar un buen montaje, mantener al husillo libre de polvo, mantener una buena lubricación entre las bolas y el husillo, y operar en los rangos de velocidad dados por el fabricante para la aplicación en particular.

Para la selección de un husillo de bolas se deben tener presente los siguientes conceptos:

Coefficiente de carga Dinámica (C_a): Este dato lo otorga el fabricante y sirve para medir la vida a la fatiga que tendrá el husillo, considera una carga axial constante en magnitud y sentido actuando centralmente al alcanzar el millón de revoluciones.

Se puede calcular la carga equivalente de acuerdo a las leyes de la dinámica en la aplicación que tendrá el husillo, para cargas variables se tiene que calcular una carga dinámica equivalente.

Capacidad de carga estática (C_o): Este se determina con la deformación permanente ocasionada por la carga que actúa en los puntos de contacto. Según norma ISO, se define la

capacidad de carga estática como la carga puramente axial y teóricamente central que creara una deformación permanente total (elemento rodante más superficie roscada) igual a 0,0001 del diámetro del elemento rodante.

Según SKF, los husillos de bolas debieran seleccionarse en base a la Coa cuando las cargas son de choque, continuas o intermitentes, y de bajas velocidades o detenidos en lugar de la vida de los rodamientos del husillo y los extremos. Es por esto que este término es más relevante cuando la aplicación será en una máquina de mecanizado. Para la selección el coeficiente de carga estática debe ser por lo menos igual al producto entre la carga estática máxima axial aplicada y un factor de seguridad otorgado por el fabricante o la experiencia para aplicaciones similares.

Al momento de seleccionar un husillo de bolas se debe tener presente el tipo de sujeción que tendrá la tuerca, ya que es una pieza única que contiene a las bolas. Y que la velocidad límite y carga admisible en el husillo son función del largo del mismo [25, 26].

b. Husillo de rosca de potencia:

Este tipo de transmisión contempla el uso de dos elementos en conjunto, el tornillo de potencia (o tornillo motriz) y la tuerca motriz, ver Figura 92, convirtiendo el movimiento rotatorio del tornillo en lineal a través del contacto con la tuerca, dejando fijo uno de estos y el otro moviéndose por la acción de la rosca.

Existen distintos tipos de roscas de potencia que tienen distinto tipo de perfil dependiendo de la función a realizar, estos se muestran en la Figura 93.



Figura 92. Husillo de rosca de potencia.

TIPOS DE ROSCAS

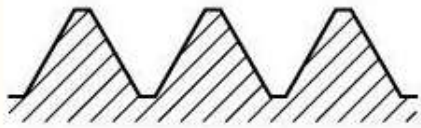
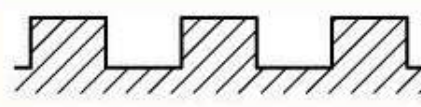
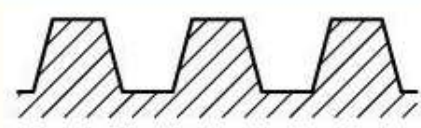
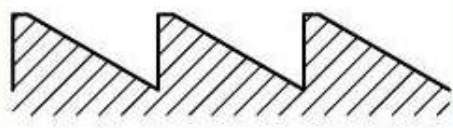
Forma hilo	Figura	usos
unificada		Uso general.
Métrica		Uso general.
Cuadrado		ideal para la transmisión de energía.
Acme		Más fuerte que la rosca cuadrada.
Diente de sierra		Diseñado para manejar fuerzas pesadas en una dirección (por ejemplo, toma de camión).

Figura 93. Tipos de perfiles de roscas de tornillo de potencia.

Los tornillos de rosca cuadrada que presentan una buena eficiencia en la transmisión, los de rosca tipo sierra que presentan una buena resistencia y eficiencia en una dirección, y los de tipo trapezoidal que presentan una buena resistencia, pero una menor eficiencia que las anteriores, estos últimos son los más usados en las máquinas herramientas, y la HQ 500 posee actualmente este tipo de rosca para el movimiento de ambos carros móviles.

De manera general se tiene que en los tornillos se identifican por [27]:

- Paso: distancia entre dos cuerdas adyacentes medidas en forma paralela al eje del tornillo.
- Diámetro mayor: diámetro más grande del tornillo.
- Diámetro menor: diámetro más pequeño del tornillo.

- Diámetro de paso: diámetro teórico entre el mayor y el menor que representa a un tornillo.
- Avance: cantidad de movimiento lineal que se avanza por el hilo del tornillo cuando se da una vuelta, en tornillos simples coincide con el paso. En tornillos de rosca (hilo) múltiple se tiene más de una entrada en la guía helicoidal, por lo que el avance resulta ser en la cantidad de entradas multiplicada por el paso del tornillo.

Al igual que en los husillos de bolas, los fabricantes de husillos de rosca trapecial se enfocan los siguientes parámetros para su selección:

Grado de carga: este es el esfuerzo al que está sometido el husillo, este depende del material, la calidad superficial, desgaste, presión de superficie, lubricación y dispersión de calor. Con esto se define la velocidad de funcionamiento teniendo la carga aplicada a partir de los parámetros de los fabricantes.

Velocidad crítica: Se debe cuidar la velocidad máxima a la que trabaja el husillo pues existe peligro de pandeo, se debe evitar entrar en la frecuencia natural del elemento. Este factor depende de la fuerza a la que está sometido el husillo, del montaje de sus extremos y se usa la velocidad crítica teórica para su cálculo.

Fuerza crítica de flexión: esta fuerza debe evitarse ya que corresponde a la falla del elemento antes de llegar a una carga de compresión permitida, depende del montaje de los extremos y de un factor de corrección definido por la velocidad crítica

Par necesario de aplicación: este es el momento al que trabaja el husillo, depende de la fuerza axial, el paso del husillo, la aceleración y de sus descansos. También en algunos casos del par de arranque necesario en el trabajo [28].

Para poder cumplir de buena manera su desempeño en una máquina herramienta CNC se opta por incorporar una tuerca anti retroceso, estas eliminan el juego presente que existe entre

el tornillo motriz y la tuerca, lo que resulta en una mayor precisión en el desplazamiento. Su funcionamiento se basa en tener dos tuercas, las cuales son oprimidas o separadas contra el tornillo motriz logrando que no se pierda el contacto tornillo – tuerca y dejando el desplazamiento en función del paso de la rosca. Al usar un sistema anti retroceso se tiene que tener presente que mientras más es la presión que se ejerce entre el tornillo y la tuerca más es el torque exigido para el giro debido al roce y menor juego queda en el movimiento.

c. Rueda Dentada Cremallera:

Este mecanismo corresponde a una rueda dentada que se desplaza por una guía lineal dentada en donde los dientes engranan, ver Figura 94.

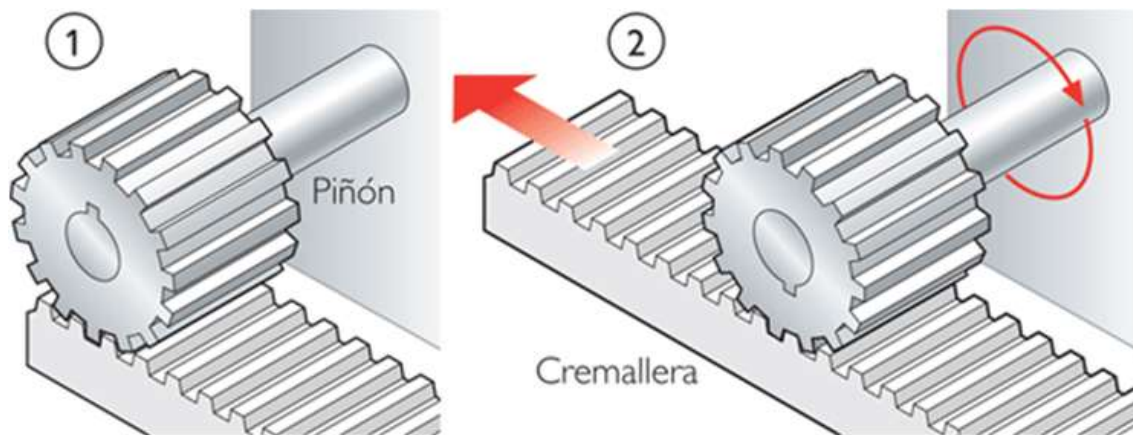


Figura 94. Mecanismo de piñón – cremallera.

Entre las características destacables de este mecanismo de transmisión es el mayor avance lineal por giro al compararse con los tornillos motrices, esto es por el paso que tiene la rueda dentada al desplazarse. Junto con esto el juego presente entre rueda y cremallera es mayor que el de tornillo tuerca.

En la operación de este mecanismo se debe evitar la deposición de polvo u otros agentes externos entre la junta de la rueda dentada y la cremallera ya que provoca el desgaste de los elementos y errores en los avances de movimiento.

Al momento de seleccionar un sistema de transmisión para una conversión es importante tener presente la capacidad de la máquina que tiene a ser modificada, es decir el espacio que se tiene disponible y los mecanismos ya existentes que posee, la relación de avance por giro

de accionamiento, y la ventaja mecánica que se tiene (el aumento o disminución de fuerza que presenta el sistema), para la selección del componente se realiza la siguiente tabla de ponderación.

A.3 Placa controladora del sistema:

Las placas controladoras pueden clasificarse en dos tipos, aquellos en donde la información es recibida desde el computador por un puerto paralelo o mediante puerto USB, ver Figura 95, el tipo de conexión define la velocidad de transmisión de la información y otras características.



(A)



(B)

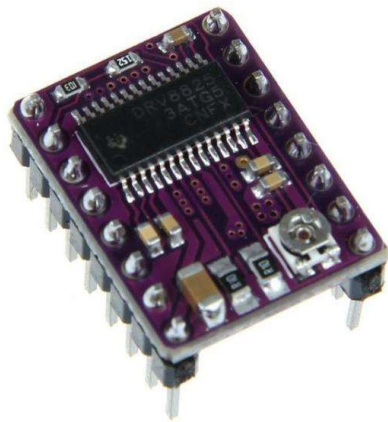
Figura 95. Placa controladora, (A) placa por puerto paralelo, (B) placa por puerto usb.

La capacidad de una placa controladora depende de la cantidad de pulsos por segundo (medido en KHz) que puede procesar. Al momento de seleccionar una placa se debe tener presente la cantidad de ejes que se quiere controlar, el software con el que tienen compatibilidad, la cantidad de pulsos por segundo que puede entregar, y si requiere de una fuente de poder externa para su funcionamiento.

De ambos tipos de placa se selecciona una que tenga puerto USB ya que los computadores de puerto paralelo están en desuso y son de difícil acceso.

A.4 Controladores de motores (Drivers):

De los tipos de controladores disponibles en el mercado existen de dos tipos, los primeros en donde la configuración de la corriente y los micro pasos es de mediante interruptores, y con ello teniendo rangos definidos, y los segundos en donde el ajuste de corriente se realiza con un potenciómetro, y los micro pasos son controlados de manera digital con el software, ver Figura 96.



(A)



(B)

Figura 96. Controladores de motores, (A) regulado mediante potenciómetro, (B) regulado por interruptores

Los controladores pueden estar también incluidos en las placas controladoras, este tipo de conexión es poco flexible, pero puede economizar espacio físico cuando así se requiera y la función a realizar esta bien definida. Un ejemplo se muestra en la Figura 97.

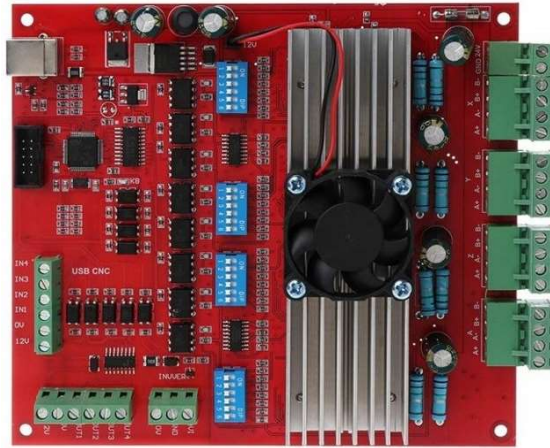


Figura 97. Placa controladora con controladores de motores incluidos.

Al momento de seleccionar un controlador para un motor se debe tener presente el rango de voltaje de entrada que tiene el motor, los rangos de corriente de salida que puede entregar, la compatibilidad que tiene el controlador con la placa controladora y los motores a usar, en conexiones y en rangos de pulsos por revolución que opera. Otros aspectos importantes a considerar son el tipo de refrigeración que tiene el controlador, y el montaje que tiene el mismo de forma física.

Se selecciona el controlador regulado por interruptores ya que estos poseen sistemas de seguridad para proteger a los motores de sobre voltajes, y son los que se construyen para controlar motores de 4 (A) o más.

A.5 Fuentes de poder:

Una fuente de poder es en esencia un reductor de voltaje, este se conecta a la red eléctrica con voltaje alterno y entrega un voltaje continuo con una corriente máxima a la que se puede exigir. Entre las opciones existentes de fuentes de poder se encuentran los transformadores comunes y aquellas que son especializadas que pueden ajustar el voltaje de salida, además adaptarse a la red a la que se conectan, ver Figura 98.



Figura 98. Tipos de fuentes de poder existentes en el mercado (A) transformador de voltaje fijo, (B) fuente de poder regulable, (C) fuente de poder de voltaje fijo.

Las fuentes de poder pueden crear un ruido electrónico considerable cuando se trabaja a altas potencias, la mayoría al no ser transformadores comunes cuentan con un interruptor que permite le permite alimentarse tanto a una red de 110 (V) y 60 (Hz) como a una de 220 (V) y 50 (Hz).

Al momento de seleccionar una fuente de poder se tiene que tener presente el tipo de red al que se puede conectar, el voltaje de salida que entregan y la corriente máxima que se le puede exigir, para el funcionamiento que se les dará. El tipo de refrigeración con el que cuentan, y las dimensiones físicas que tienen.

A.6 Programas de control

- Software CAD/CAM (software generador de código G):

Existen distintos programas generadores de código G que tiene plataformas de CAD / CAM, de entre ellos se encuentran programas con módulos especializados para las distintas operaciones que se realizan en una máquina de control numérico, y hay otros que se especializan en la operación de una maquina por la cantidad de ejes de trabajo que posee. A modo de mención se encuentran:

- Vectric Aspire: este programa se especializa en la generación de código G para grabados en 2D y 3D con módulos de grabado plano y en relieve para fotos o diseños propios desarrollados en el mismo software.

- Surfcam: de la empresa Hexagon, posee distintos productos los cuales están especializados de acuerdo a la funcionalidad de la máquina, de estos se encuentran productos como: surfcam milling para fresadora, surfcam turning para tornos, surfcam waveform para mecanizado en forma de onda, surfcam wire EDM para máquinas por electroerosión.
- Fusion 360: software diseñado para CAD, CAM y CAE (ingeniería asistida por computador).
- Inventor: de la empresa Autodesk, software destinado al diseño CAD, pero con extensiones para trabajar en manufactura CAM.

Estos programas funcionan con la extensión de archivo STL (standard triangle language), el cual define la geometría de los archivos diseñados por computador.

La elección de estos softwares depende de las necesidades del trabajo al que estará destinado. Es por esto que para la conversión como programa generador de código G se selecciona definitivamente Inventor con su módulo HSM ya que los alumnos de la carrera están familiarizados con este programa y se utiliza en ramos desde los primeros años.

- Software controlador de la máquina (software lector de código G):

Al seleccionar previamente el módulo de inventor HSM este tiene compatibilidad con diversos programas para la generación del código de ellos se destacan los siguientes:

- Mach 3: de la compañía Artsoft, este software cuenta con soporte especializado para máquinas fresadoras, tornos, y cortadoras láser. Este software también cuenta con su propio editor de código y programas predefinidos para operaciones comunes como cilindrados.
- Arduino (GRBL): El firmware GRBL es una extensión para la placa controladora Arduino, que es de software libre y barato. Este cuenta con parámetros básicos de control de movimiento. Habitualmente como GRBL es solo el lenguaje en que se lee el programa, se usa junto a otro programa para el control de la máquina, como el caso del universal gcode sender.

La selección de un programa lector de código G queda condicionada por la compatibilidad tanto de los pos procesadores del software CAD / CAM usado como de la electrónica que se usa.

B. Resultados selección por pesos ponderados:

B.1 Equipo de procesamiento:

Motores:

Tabla 42. Tabla de ponderación de selección de motor.

Criterio de selección	Ponderación	Motor paso a paso		Servomotor	
		Nota	Peso Ponderado	Nota	Peso Ponderado
Costo	0,2	5	1	3	0,6
Calidad	0,2	4	0,8	5	1
Seguridad	0,25	5	1,25	5	1,25
Operación	0,25	5	1,25	4	1
Mantenimiento / reemplazo	0,1	5	0,5	5	0,5
Total	1		4,8		4,35

Sistema de transmisión de potencia:

Tabla 43. Tabla de selección del mecanismo de transmisión.

Criterio de selección	Ponderación	Husillo de bolas		Husillo de rosca de potencia		Rueda dentada-Cremallera	
		Nota	Peso Ponderado	Nota	Peso Ponderado	Nota	Peso Ponderado
Costo	0,2	3	0,6	5	1	5	1
Calidad	0,2	5	1	4	0,8	3	0,6
Seguridad	0,25	5	1,25	4	1	4	1
Operación	0,25	5	1,25	5	1,25	4	1
Mantenimiento / reemplazo	0,1	3	0,3	4	0,4	4	0,4
Total	1		4,4		4,45		4

B.2 Unidad de control:

Placa controladora: Por conveniencia se decide por utilizar placas con conexión por puerto USB ya que ofrece una mayor disponibilidad de computadores para el interfaz usuario máquina.

Controladores de los motores (Drivers): por la facilidad de uso y configuración se eligen los controladores con interruptores, siendo los analógicos más complicados de fabricar y adaptar a la necesidad.

Computador: se tiene presente este componente como uno de capacidades genéricas que pueda soportar los programas de control seleccionados.

Fuentes de poder:

Tabla 44. Tabla de selección tipo de fuente de poder.

Criterio de selección	Ponderación	Transformador		Voltaje regulable		Voltaje fijo	
		Nota	Peso Ponderado	Nota	Peso Ponderado	Nota	Peso Ponderado
Costo	0,2	5	1	3	0,6	5	1
Calidad	0,2	3	0,6	5	1	5	1
Seguridad	0,25	3	0,75	5	1,25	5	1,25
Operación	0,25	3	0,75	4	1	5	1,25
Mantenimiento / reemplazo	0,1	5	0,5	2	0,2	4	0,4
Total	1		3,6		4,05		4,9

Finales de carrera y parada de emergencia: Al ser un componente barato y de fácil adquisición no se utiliza la tabla de pesos ponderados en cambio se elige uno genérico de accionamiento mecánico.

B.3 Programa de piezas:

Programa generador de código G: se utilizará el programa inventor con su módulo HSM ya que es de fácil acceso para los alumnos de la carrera.

Programa interfaz usuario máquina: se utilizará el programa que tenga compatibilidad con la placa controladora, y el post procesador de inventor para la lectura del código G.

C. Revisión sistema de correa de sincronización

Al ser la correa HTD 5M estandarizada se seguirá el catálogo de la empresa Fenner para ver las capacidades de la correa.

BELT PITCH SELECTION CHART

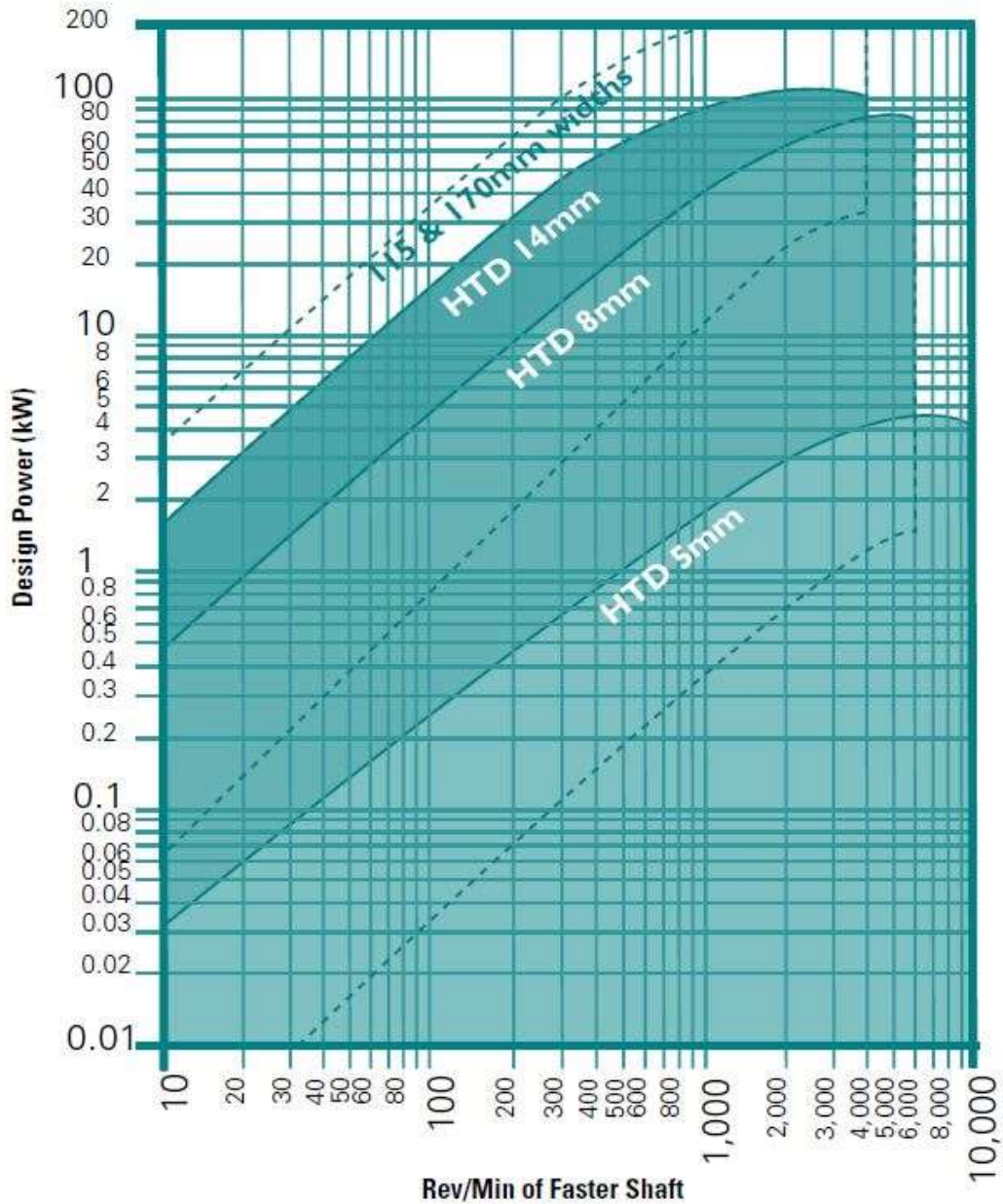


Figura 99. Diagrama Potencia vs RPM de la correa de sincronización HTD 5M [29].

A partir de la tabla del catálogo de selección mostrado en la Figura 99 se verifica los rangos de operación de la correa con los parámetros de la máquina. Para ello se comprobará con 3 revoluciones por minutos de la tabla, 100, 400 y 1000 rpm al ser velocidades representativas, superándose difícilmente en operación sobre 1000 rpm por el mecanizado.

Tabla 45. Cálculos correa sincronizadora.

RPM rueda más rápida	Potencia máxima que soporta la correa (Kw)	Torque a potencia máxima de correa (Nm)	Avance Eje X (mm/min)	Avance Eje Z (mm/min)
10	0,003	3,00	15	20
100	0,25	2,50	150	200
400	0,70	1,75	600	800
1000	1,90	1,90	1500	2000

En la Tabla 45, se ve que la tensión máxima a la que se puede someter la correa de sincronización es de 3 (Nm) cuando la rueda de sincronización del motor trabaja a 10 rpm, siendo este el valor máximo de torque que entrega el motor NEMA 23 del eje X y aproximadamente un 60% para el motor NEMA 34 del eje Z, por lo que la correa puede trabajar bien con el conjunto de conversión. Además, por configuración y uso los motores trabajan a un cierto porcentaje de su capacidad configurando esto en el controlador mediante la corriente máxima que se entregara ya que están sobredimensionados en su diseño.

D. Planos de piezas fabricadas.

- Planos soportes de motores

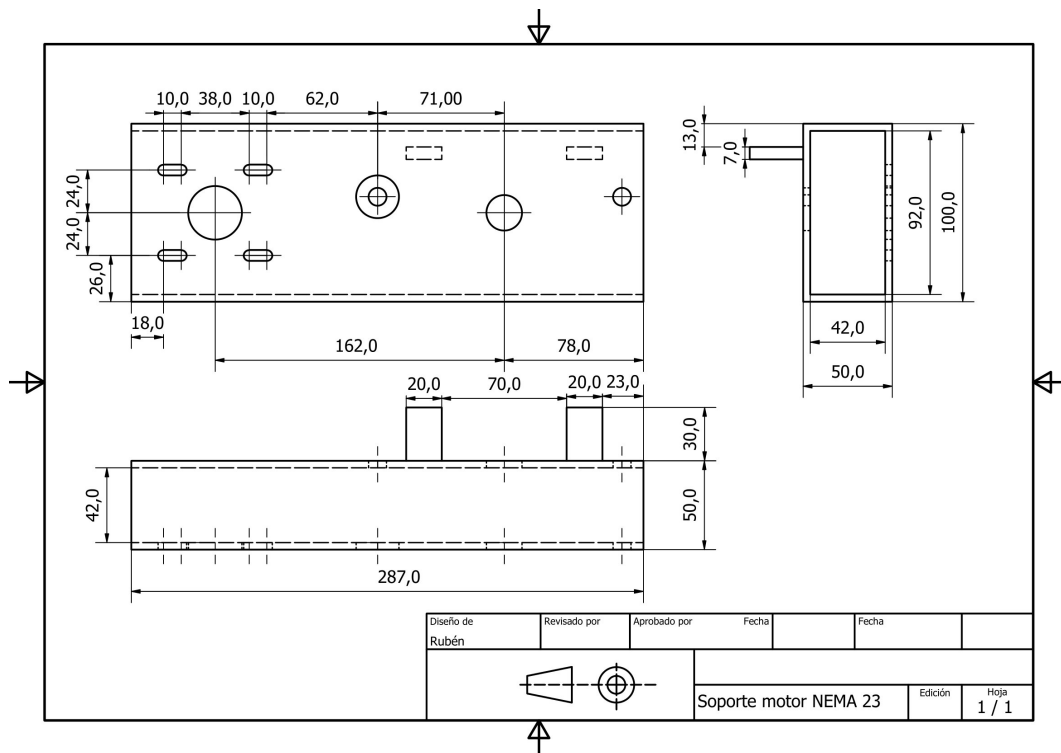


Figura 100. Plano soporte de motor del eje X.

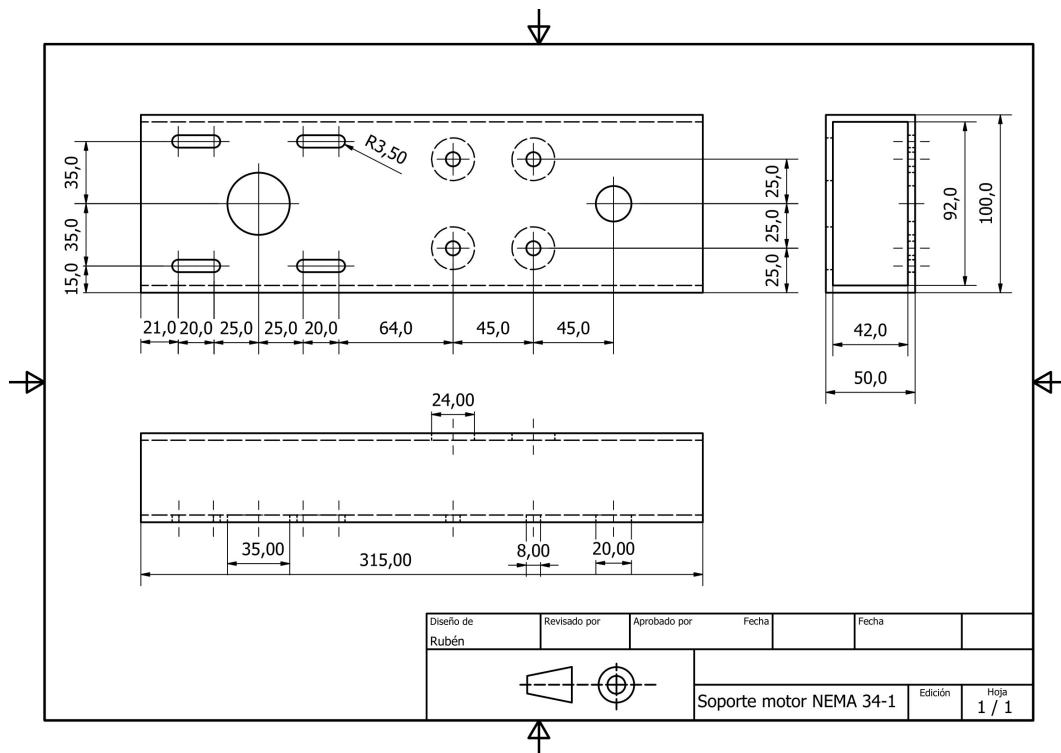


Figura 101. Plano soporte de motor del eje Z.

- Planos sistema anti retroceso eje X.

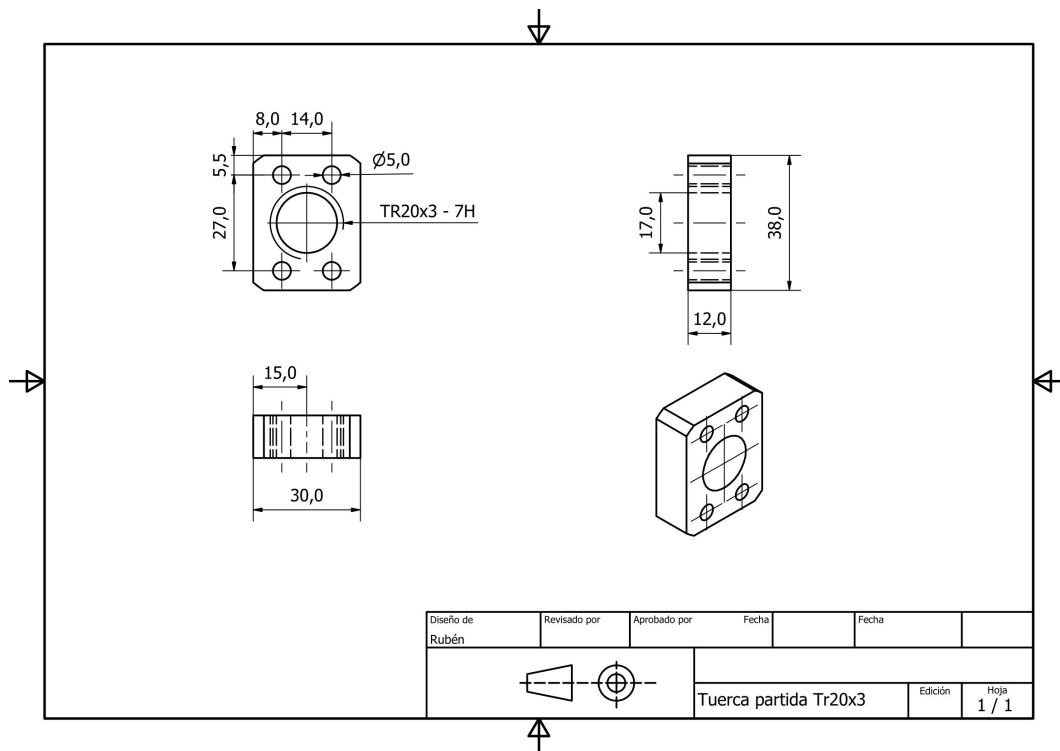


Figura 102. Plano tuerca motriz del eje X.

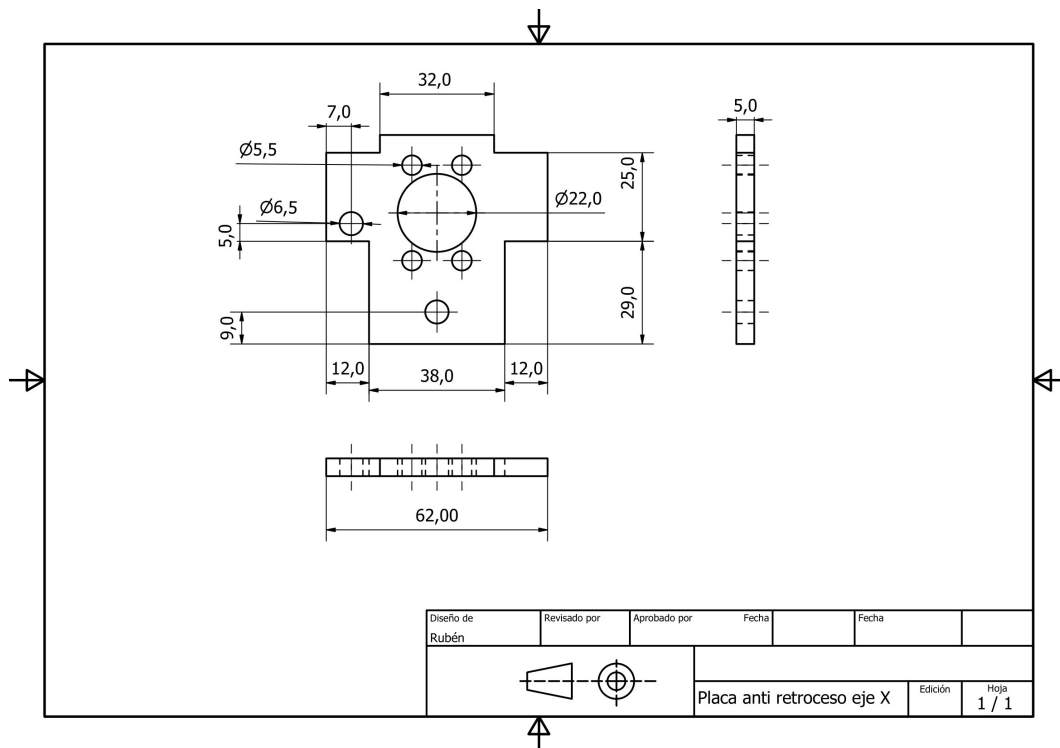


Figura 103. Plano placa anti retroceso.

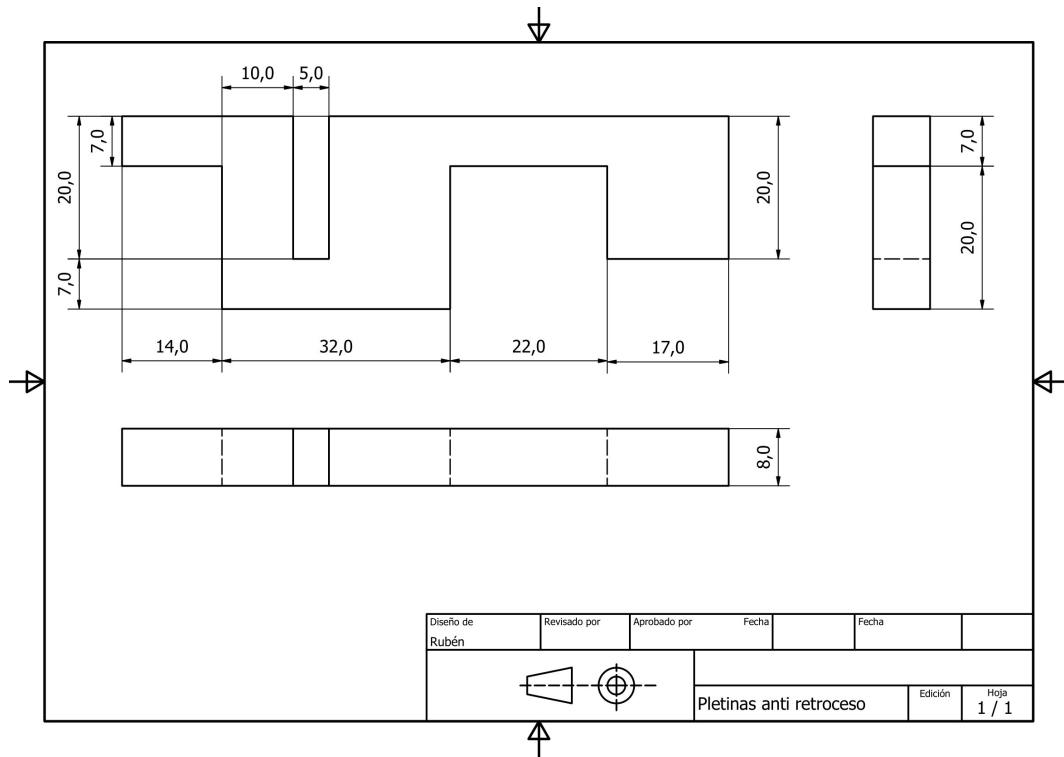


Figura 104. Plano pletinas anti retroceso.

- Planos sistema anti retroceso del eje Z

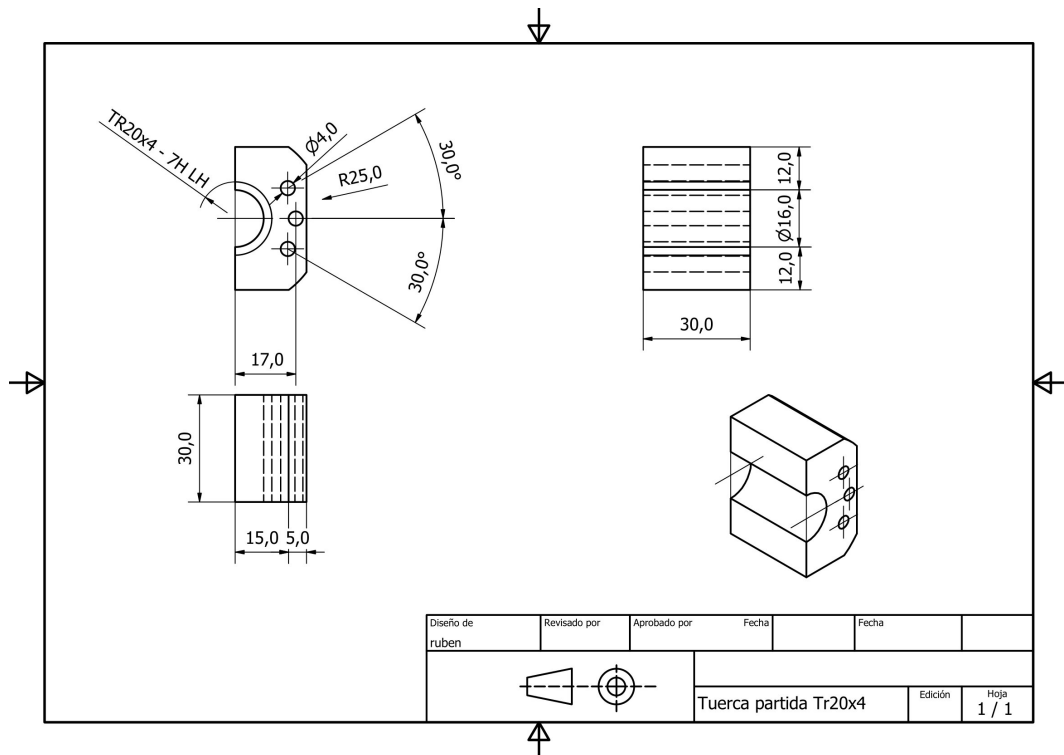


Figura 105. Planos tuerca motriz del sistema anti retroceso del eje Z.

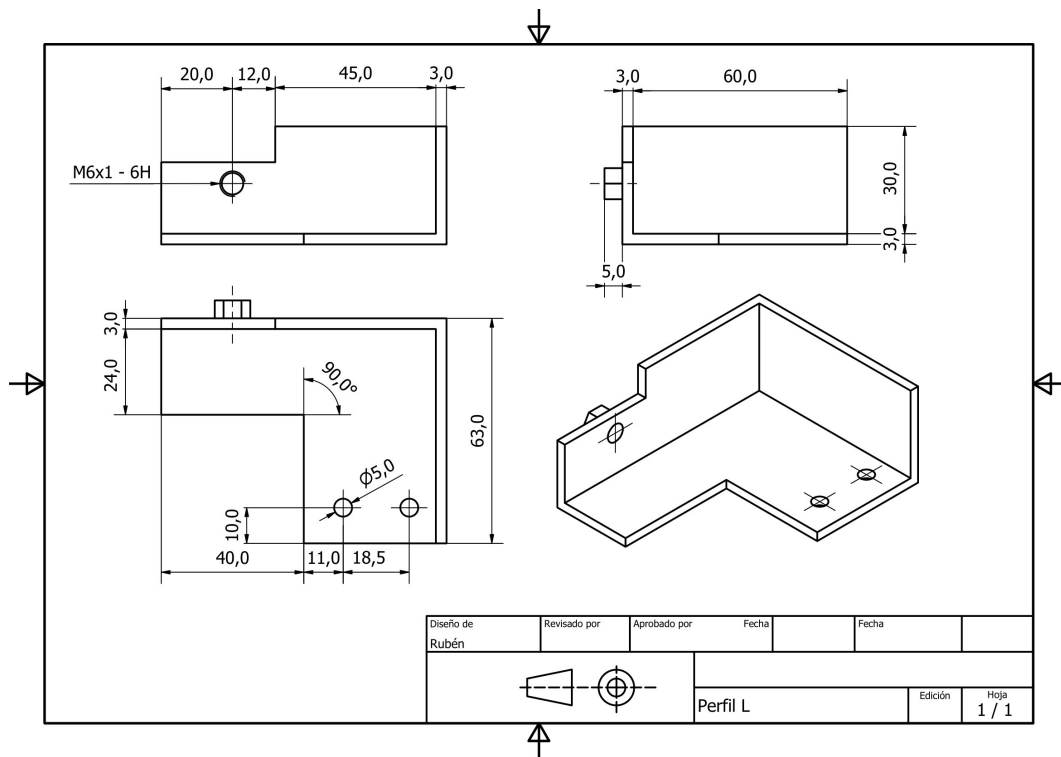


Figura 106.. Plano soporte de zapata.

- Planos soportes finales de carrera

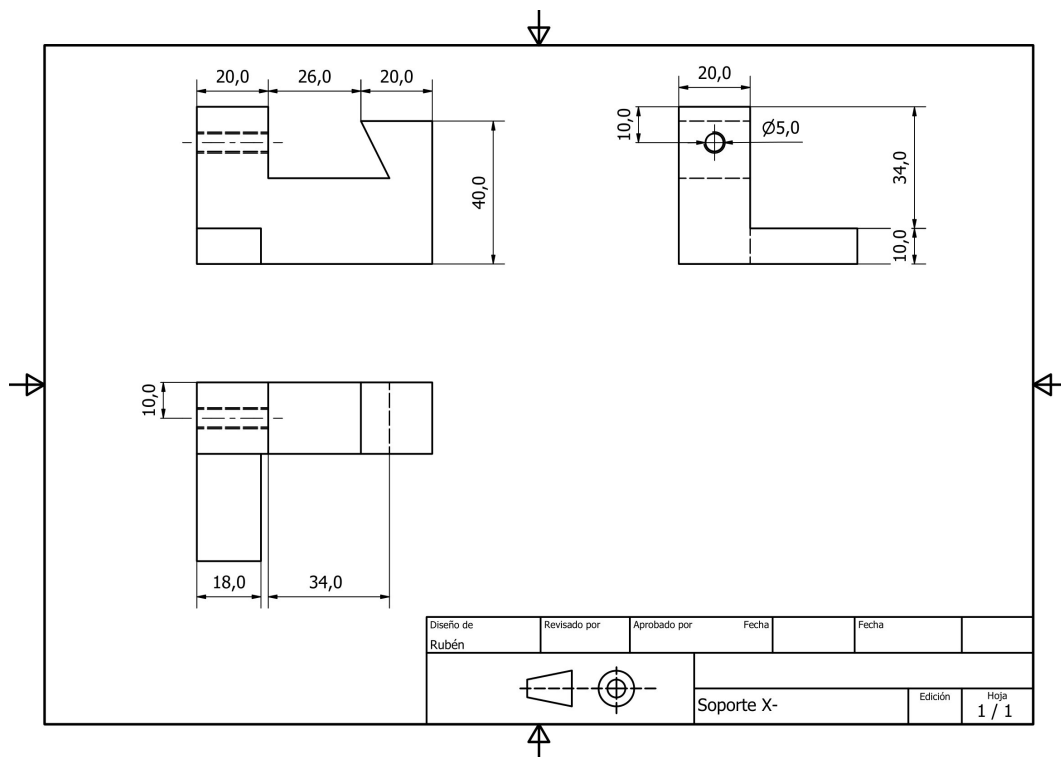


Figura 107. Plano soporte final de carrera X-.

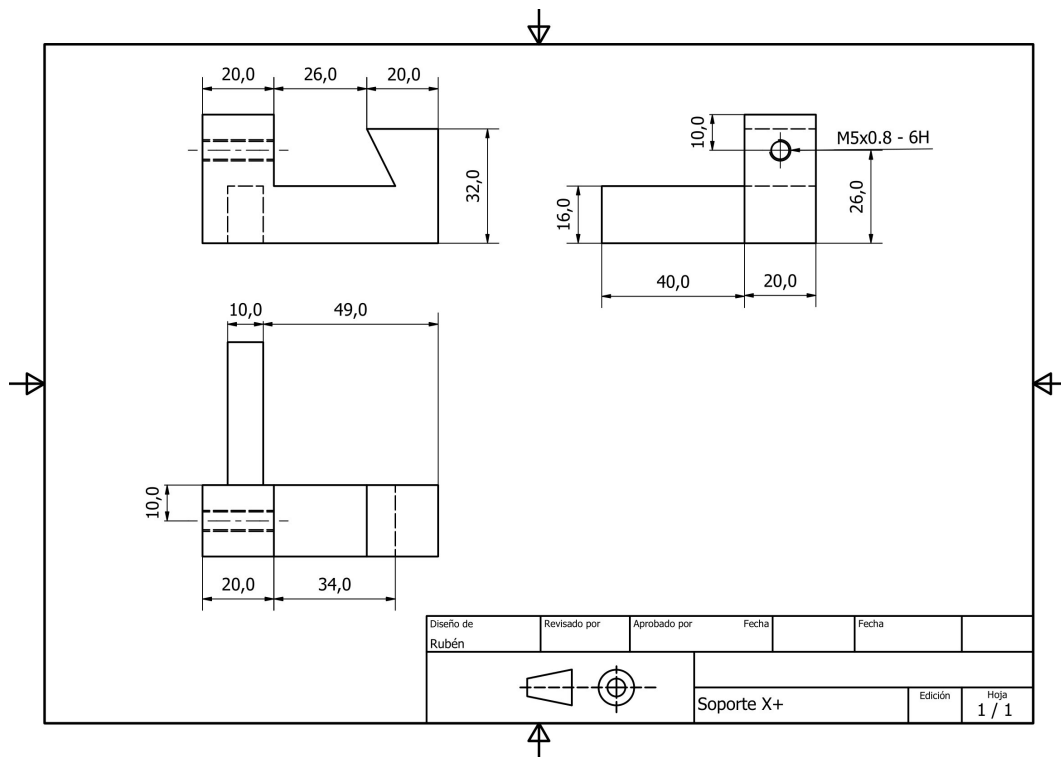


Figura 108. Plano soporte final de carrera X+.

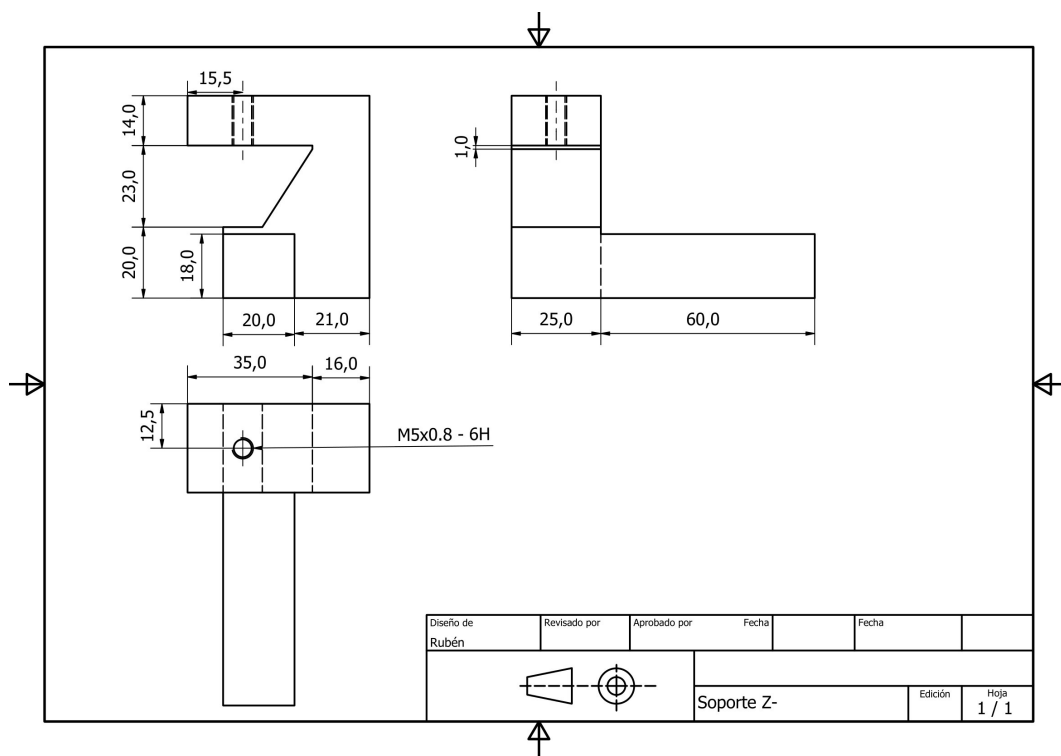


Figura 109. Plano soporte final de carrera Z-.

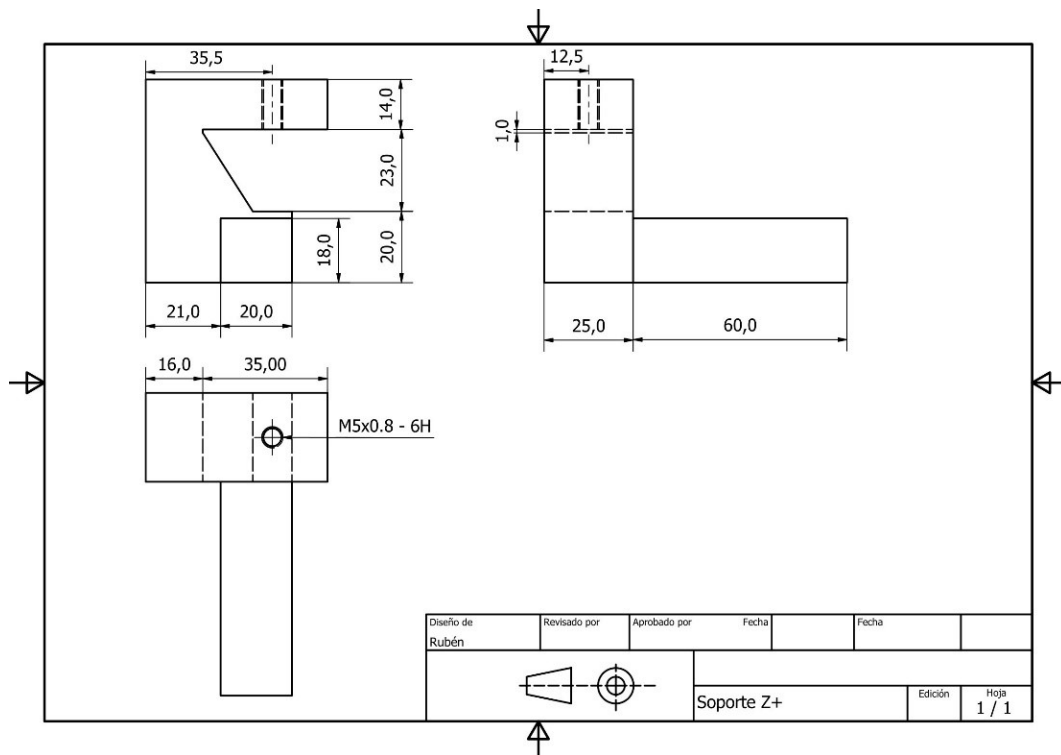


Figura 110. Plano soporte final de carrera Z+.

Bibliografía

1. Groover, M., *Fundamentos de manufactura moderna. Tercera edición. Ed.* México, DF: Mc Graw Hill, 2007: p. 512.
2. Kalpakjian, S. and S.R. Schmid, *Manufactura, ingeniería y tecnología.* 2002: Pearson educación.
3. Groover, M., *Fundamentos de manufactura moderna. Tercera edición. Ed.* México, DF: Mc Graw Hill, 2007: p. 496.
4. ISO, *Classification and application of hard cutting materials for metal removal with defined cutting edges — Designation of the main groups and groups of application.* 2012: www.iso.org. p. 3.
5. Coromant, S. *Los materiales en la fabricación.* 2019 [cited 2019; Available from: www.sandvik.coromant.com.
6. Mariano. *Tecnología de los plásticos.* 2019 26/6/2019]; Available from: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/mecanizado-de-plasticos.html>.
7. Plastigen. *Recomendaciones mecanizado de plásticos* 2019; Available from: www.plastigen.cl.
8. Tecnología, Á., *Aglomerado.* 2019.
9. Alejandro, *Maderas Santana características de los tableros MDF.* 2019.
10. Groover, M., *Fundamentos de manufactura moderna. Tercera edición. Ed.* México, DF: Mc Graw Hill, 2007: p. 889.
11. Groover, M., *Fundamentos de manufactura moderna. Tercera edición. Ed.* México, DF: Mc Graw Hill, 2007: p. 891.
12. Groover, M., *Fundamentos de manufactura moderna. Tercera edición. Ed.* México, DF: Mc Graw Hill, 2007: p. 892.
13. Groover, M., *Fundamentos de manufactura moderna. Tercera edición. Ed.* México, DF: Mc Graw Hill, 2007: p. 895.
14. Ramirez, D., *Automatización de un torno paralelo, mediante un control numérico computarizado basado en PC* L. Manso, Editor. 2011: Unuversidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnologías, Escuela de Tecnología Mecánica Pereira.
15. Groover, M., *Fundamentos de manufactura moderna. Tercera edición. Ed.* México, DF: Mc Graw Hill, 2007: p. 899.
16. Dieter, G.E. and L.C. Schmidt, *Engineering design/George E. Dieter, Linda C. Schmidt.* 2009, Boston: McGraw-Hill Higher Education. p. 96.
17. Nisbett, R.G., *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.* México. Editorial McGraw-Hill Interamericana, 2008: p. 400-408.
18. Leadshine, *User's Manual For MA860H High Performance Microstepping Driver.* 2009.
19. Dynamics, A. *The right timing belt.* 2019 14/1/2016; Available from: www.apexdyna.nl/en/the-right-timing-belt/.
20. Nisbett, R.G., *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.* México. Editorial McGraw-Hill Interamericana, 2008: p. 887.
21. Casillas, A.L., *Máquinas: cálculos de taller.* 1977.

22. Sanzo, F.J.C., *Diseño y Construcción de Fresadora CNC 3 ejes para utilizacion docente*, in *Departamento de Ingeniería Mecánica*. 2018, Universidad Técnica Federico Santa María. p. 197.
23. Condit, R. and D.W. Jones, *Stepping motors fundamentals*. Microchip Inc. Publication AN907, 2004: p. 1-22.
24. Suh, S.-H., et al., *Theory and design of CNC systems*. 2008: Springer Science & Business Media.
25. Frank, T. and E. Lunz, *Eje de accionamiento de alta velocidad con husillo a bolas*. Artículo de la revista "Antriebstechnik, 1998(1).
26. TECH, A., *Husillos a bolas rectificados*. 2019.
27. Joseph, S. and R.M. CHARLES, *Diseño en ingeniería mecánica*. Mexico: Mc GRAWHILL, 2002: p. 396.
28. TECNOPOWER. *Husillo de rosca trapecial laminado*. 2019; Available from: www.mecapedia.uji.es/catalogos/tornillo_de_potencia/tecnopower.1.pdf.
29. Fenner, *Fenner Synchronous belts*. 2019.