ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA CORTADORA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO CON CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TITULO DE INGENIERO MECÁNICO

LEONARDO FRANCISCO BELTRÁN VENEGAS

leofbeltan@hotmail.com

JORGE SANTIAGO VELA CHULDE

yagov13@hotmail.com

DIRECTOR: Ing. MARIO GRANJA

mariogranja@gmail.com

Quito, Julio 2010

DECLARACIÓN

Nosotros, Leonardo Francisco Beltrán Venegas y Jorge Santiago Vela Chulde, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Leonardo F. Beltrán Venegas

Jorge S. Vela Chulde

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los señores Leonardo Francisco Beltrán Venegas y Jorge Santiago Vela Chulde, bajo mi supervisión.

Ing. Mario Granja

DIRECTOR DEL PROYECTO.

DEDICATORIA

A mis padres por su apoyo incondicional.

A mis hermanos con los que siempre conté para superar dificultades.

A mi Mamá Charito que me bendice desde el cielo.

LEONARDO

.

A mis amados padres, Jorge y Margarita

A mí querida hermana, Jenny

A mi amante esposa, Gaby

SANTIAGO

AGRADECIMIENTOS

A dios por brindarme siempre sus bendiciones.

A mis padres que han sido mi principal apoyo.

A mi amigo y compañero de Tesis Santiago.

A mi familia que siempre ha estado pendiente y brindándome su apoyo.

Al Ingeniero Mario Granja por brindarnos sus conocimientos y guía en el presente proyecto.

A los ingenieros de la carrera que nos brindaron sus conocimientos.

A mis amigos que me brindaron su apoyo y ayuda.

LEONARDO

A Dios por llenarme de bendiciones toda mi vida

A mis padres, en especial a mi madre por su dedicación y amor

A mi hermana por su ejemplo de perseverancia

A mi esposa por su apoyo incondicional

A un amigo entrañable, Leonardo, el compañero perfecto de Tesis

A mi familia por apoyarme en todo momento

Al Ing. Mario Granja por su acertada guía en el presente proyecto

A los profesores de la Facultad de Ingeniería Mecánica

A mis amigos y compañeros que me brindaron su apoyo

SANTIAGO

CONTENIDO

DECLARACIÓN I

CERTIFICACIÓN II

DEDICATORIA..... IIII

AGRADECIMIENTOS..... IV

CONTENIDO..... V

LISTA DE ANEXO......XI

LISTA DE TABLAS......XII

LISTA DE FIGURAS.....XII

RESUMEN.....XVI

PRESENTACIÓN.....XVII

CAPITULO I

1 GENERALIDADES..... 1

1.1 GENERALIDADES DEL CONTROL NUMERICO.....1

1.1.1 INTRODUCCION CONTROL NUMÉRICO CN……..1

1.1.2 MAQUINAS HERRAMIENTAS DE CONTROL NUMERICO……2

1.1.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE MHCN……3

1.1.4 FUNCIONES DE LAS MAQUINAS HERRAMIENTAS CNC…….4

1.1.5 APLICACIONES DE LAS MAQUINAS CNC……5

1.1.6 CONVENCIONES DE LOS EJES……..6

1.1.7 TIPOS DE CONTROL NUMERICO……...8

1.1.7.1 Control numérico punto a punto……..8

1.1.7.2 Control numérico paraxial……8

1.1.7.3 Control numérico continuo o por contorneado……..9

1.1.8 DENOMINACION DE LAS MAQUINAS CNC SEGÚN EL TIPO DE MECANIZADO……..10

1.1.9 ELEMENTOS PRINCIPALES DE LOS SISTEMAS CNC……11

1.1.9.1 Estructura principal de una máquina herramienta CNC……11

1.1.9.1.1 Clasificación de las estructuras……12
1.1.9.2 Correderas y guías……..13
1.1.9.2.1 Materiales para guías……..13
1.1.9.2.2 Tipos de guías……..14
1.1.9.3 Husillo……16
1.1.9.4 Rodamientos del husillo……..16
1.1.9.5 Sistemas de transmisión……17
1.1.9.5.1 Servo transmisiones CA y CD……18
1.1.9.5.2 Motores por pasos……...19
1.1.9.5.3 Transmisiones hidráulicas neumáticas……19
1.1.9.6 Dispositivo transmisor de energía……20
1.1.10 CONTROLADOR……21
1.1.11 UNIDAD DE CONTROL DE LA MAQUINA……22
1.1.11.1 Elementos de la UCM……...23
1.1.12 DISPOSITIVOS DE RETROALIMENTACION……24
1.1.13 PRINCIPIOS BASICOS DE PROGRAMACION……...25
1.2 GENERALIDADES POLIESTIRENO……26
1.2.1 INTRODUCCIÓN……26
1.2.2 OBTENCIÓN……..27
1.2.3 PROPIEDADES……..28
1.2.4 TRANSFORMACIÓN DEL POLIESTIRENO Y APLICACIONES...28
1.2.5 POLIESTIRENO EXPANDIDO……31
1.2.5.1 Definición……...31
1.2.5.2 Historia……..31
1.2.5.3 Propiedades y características poliestireno expandido. …….31
1.2.5.3.1 Densidad ……..31
1.2.5.3.2 Color……...32

1.2.5.3.3 Resistencia mecánica……32
1.2.5.3.4 Aislamiento térmico……32
1.2.5.3.5 Comportamiento frente al agua y vapor de agua…..…32
1.2.5.3.6 Estabilidad dimensional……..33
1.2.5.3.7 Estabilidad frente a la temperatura……...33
1.2.5.3.8 Comportamiento frente a factores atmosféricos……33
1.2.5.4 Propiedades biológicas……...34
1.2.5.5 Comportamiento frente al fuego……..…34
1.2.5.7 Producción del poliestireno expandido……35
1.2.5.7.1 Polimerización del Estireno……35
1.2.5.7.2 Obtención del Poliestireno Expandido……..……..36
1.2.5.8 Usos y aplicaciones del poliestireno expandido……38
1.2.5.8.1 Empaque y embalaje……...38
1.2.5.8.2 Construcción……39
1.2.5.9 Reciclado del poliestireno expandido……...39
1.2.5.9.1 Poliestireno expandido y el medio ambiente……...39
1.2.5.9.2Reciclabilidad……40

CAPITULO II

2 SOFTWARE FOAMWORKS 3.0……42
2.1 INTRODUCCION……..42
2.2 HOME CONTROL……..……42
2.2.1 HOME POSITION……42
2.2.2 WAY POINT 1 / WAY POINT 2……44
2.3 INICIO RAPIDO……..……45
2.3.1 PARA COMENZAR……45
2.3.2 ARCHIVOS DAT (DAT FILES) ……46
2.3.3 ORIENTACION DE LA MAQUINA Y SECUENCIA DE CORTE…47
2.3.3.1 Orientación……47
2.3.3.2 Secuencia……48
2.4 BLOQUE DE NOTAS (NOTE PAD)……48
2.5 CONFIGURACION DE LA MAQUINA……....49
2.5.1 LEAD-IN CUT OPTIONS……49
2.5.2 FOAM BLANK OPTIONS……..50

2.5.3 MACHINE SETUP UP - PARALLEL PORT PIN ASSIGNMENTS.51
2.5.4 STEPPER MOTOR OPTIONS……52
2.5.5 KERF ADJUSTMENT……53
2.5.6 PARALLEL PORT ADDRESS……54
2.5.7 RESET DEFAULTS……55
2.5.8 SAVE SETTINGS……..55
2.6 OPERACIÓN MANUAL……..……55
2.6.1 SINGLE AXIS CONTROL……55
2.6.2 COMMON AXIS CONTROL……56
2.6.3 MANUAL CONTROL……57
2.6.3.1 Control a través del mouse……58
2.6.3.2 Control a través del teclado……58
2.7 FOAM CUTTING……..59
2.7.1 PARÁMETROS……...59
2.7.1.1 Corte concéntrico……60
2.7.1.2 Eccentric Cuts……..60
2.7.1.3 Non-tapared Cuts……61
2.7.2 GENERATE CUT FILE……..62
2.7.3 LOAD CUT FILE……63
2.7.4 START CUT……64
2.8 ADDING / DELETING DELAY POINTS……65
2.8.1 DELAY POINTS – PURPOSE……65
2.8.2 ADDING DELAY POINTS……67
2.8.3 DELETING DELAY POINTS……..…68
2.9 TROUBLE SHOOTING……69
2.9.1 SALIDA DEL PUERTO PARALELO……69
2.9.2 VIEW ACTIVITY PARALLEL PORT……70
2.9.3 CUTTING SPEED……71
2.9.4 SCREEN RESOLUTION……...71
CAPITULO III
3 DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO Y ELECTRÓNICO……..72
3.1 DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO……72
3.1.1 DISEÑO DE SOPORTE GUIAS VERTICALES……73

3.1.2 DISEÑO DE GUIAS VERTICALES……75
3.1.3 DISEÑO DE GUIAS HORIZONTALES……...77
3.1.4 DISEÑO DE CARRO VERTICAL……..……78
3.1.5 DISEÑO DEL CARRO HORIZONTAL……..80
3.1.6 DISEÑO DE LOS TORNILLOS DE POTENCIA……83
3.1.6.1 Introducción……..83
3.1.6.2 Tornillo de potencia……86
3.1.6.3 Análisis de la flexión del tornillo de potencia……..87
3.1.6.4 Análisis a fatiga del tornillo de potencia……...91
3.1.6.5 Análisis de la fuerza y del par de torsión del tornillo de potencia……..94
3.1.7 SELECCIÓN DE LOS RODAMIENTOS……..101
3.1.7.1 introducciones a los rodamientos……101
3.1.7.2 Clasificación de los rodamientos……102
3.1.7.3 Método de selección de rodamientos……104
3.1.7.3.1 Tipo de rodamiento……105
3.1.7.3.2 Espacio disponible……105
3.1.7.3.3 Vida útil……105
3.1.7.3.4 Carga de los rodamientos……110
3.1.7.3.5 Desalineación……110
3.1.7.4 Selección del rodamiento para el tornillo de potencia horizontal……..111
3.1.8 SELECCIÓN DEL ACOPLE……..113
3.1.9 DISEÑO DE SOPORTE PARA RODAMIENTO POSTERIOR Y ANTERIOR……..115
3.1.10 DISEÑO DE SOPORTE PARA MOTOR HORIZONTAL……116
3.1.11 DISEÑO DE PLACA BASE DE PLANCHAS……117
3.1.12 DISEÑO DE PRENSAS DE FIJACION……118
3.1.13 SELECCIÓN DE BOCINES……119
3.1.14 DISEÑO DEL BASTIDOR……..……119
3.2 DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO……121
3.2.1 INTRODUCCION……121
3.2.2 CIRCUITO DE CONTROL……..121

3.2.2.1 Puerto paralelo……...121
3.2.2.2 Control de motores……123
3.2.2.3 Control de fase directo……..126
3.2.2.4 Fuente de alimentación……128
3.2.3 CIRCUITO DE POTENCIA……128
3.2.3.1 Algoritmo para el control del micro controlador……128

CAPITULO IV

4 CONSTRUCCIÓN, ENSAMBLE Y CALIBRACION DEL PROTOTIPO…….133
4.1 CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO……133
4.2 ENSAMBLAJE DEL PROTOTIPO……...139
4.3 CALIBRACIÓN Y PRUEBAS DEL PROTOTIPO……..146

CAPITULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES……153

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS……...155
REFERENCIAS INTERNET……156
ANEXOS……....157

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. DIAGRAMAS PARA EL CÁLCULO DE LA VIDA UTIL DEL RODAMIENTO

ANEXO B. CATALOGO DE ACOPLE

ANEXO C.PARÁMETROS PARA LOS FACTORES DE MODIFICACIÓN EN FATIGA

ANEXO D. CATALOGO DE MOTOR PASO A PASO

ANEXO E. PLANOS

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Métodos de fabricación del poliestireno y sus usos…… 29
Tabla 3.1. Dimensiones de soporte de ejes verticales……...73
Tabla 3.2. Dimensiones de guía vertical……...76
Tabla 3.3. Dimensiones de guía horizontal……..77
Tabla 3.4. Dimensiones de carro vertical……..79
Tabla 3.5. Cargas sobre carro horizontal……..81
Tabla 3.6. Dimensiones de carro horizontal……82
Tabla 3.7. Cargas sobre el tornillo y guías horizontales……89
Tabla 3.8. Coeficientes de fricción para pares roscados……99
Tabla 3.9. Coeficientes de fricción de collarín de empuje……..99
Tabla 3.10. Valores orientativos del factor de ajuste ηc para diferentes grados de contaminación……108
Tabla 3.11. Valores del factor de ajuste de la vida útil a_1……109
Tabla 3.12. Valores requeridos de vida nominal L10h para diferentes clases de máquinas…….....109
Tabla 3.13 Características rodamiento 609……112
Tabla 3.14. Características de varios acoplamientos……...114
Tabla 3.15. Dimensiones de soporte de rodamiento……116
Tabla 3.16. Dimensiones de soporte de motor……..117
Tabla 3.17. Dimensiones de soporte de motor……..118
Tabla 3.18. Dimensiones de soporte de motor……..119
3.19. Dimensiones de soporte de motor……120
Tabla 4.1. Proceso del ensamblaje del conjunto 1……140
Tabla 4.2. Proceso del ensamblaje del conjunto 2, conjunto 3 y conjugación con conjunto 1……141
Tabla 4.3. Ensamblaje del conjunto 4 y conjugación con conjunto 1, 2, 3……142
Tabla 4.4. Proceso del ensamblaje del conjunto 5……144
Tabla 4.5. Proceso del ensamblaje final del prototipo……..145

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Sistema de coordenadas absolutas con origen fijo……7
Figura 1.2 Sistema de coordenadas absolutas con origen flotante……7
Figura 1.3 Control numérico punto a punto ……..9
Figura 1.4 Control numérico paraxial ……..9
Figura 1.5 Control numérico continuo ……..10
Figura 1.6 Denominación de las máquinas CNC según el tipo de mecanizado....10
Figura 1.7 Diferentes tipos de guías que se utilizan en las maquinas herramientas…...14
Figura 1.8 Motores neumático…….. 20
Figura 1.9 Tornillo de bolas recirculatorias y ensamble de tuerca……...21
Figura 1.10 Monómero del estireno…… 28
Figura 1.11 Obtención del EPS……..36
Figura 1.12 Símbolo de clasificación para el reciclado del Poliestireno……40
Figura 2.1 Configuración del “Home Position”……42
Figura 2.2. Regreso a posición inicial……43
Figura 2.3. Way point 1 / way point 2……44
Figura 2.4. Configuracion de Way point……45
Figura 2.5. Generación de archivo DAT……47
Figura 2.6. Note PAd……49
Figura 2.7. Lead in cut……50
Figura 2.8. Foam Blank options ……51
Figura 2.9. Configuración de la maquina ……52
Figura 2.10. Configuración de los motores paso-paso……...53
Figura 2.11. Ajustes de corte……..54
Figura 2.12. Selección del puerto paralelo……...54
Figura 2.13. Guardado de cambios……55
Figura 2.14. Control individual de los motores……56
Figura 2.15. Control común de los motores……57
Figura 2.16. Control a través del mouse ……..58
Figura 2.17. Control a través del teclado……59
Figura 2.18. Parámetros del corte……60
Figura 2.19. Corte concéntrico……61
Figura 2.20. Corte excéntrico……..61

Figura 2.21. Generar archivo de corte……..63
Figura 2.22. Cargar archivos de corte……...64
Figura 2.23. Comenzar corte ……65
Figura 2.24. Delay Points ……...66
Figura 2.25. Agregar Delay Points……67
Figura 2.26. Acercamiento/ alejamiento……68
Figura 2.27. Borrar Delay Points……69
Figura 2.28. Salida del puerto paralelo……70
Figura 2.29. Visualización de la actividad del puerto paralelo……..71
Figura 3.1. Soporte ejes verticales……73
Figura 3.2. Guía vertical……..74
Figura 3.3. Guía horizontal……77
Figura 3.4. Carro vertical……79
Figura3.5. Carro horizontal……81
Figura 3.6. Paso y avance……..84
Figura 3.7. Nomenclatura para rosca de tornillo……84
Figura 3.8. Tipos de rosca……..85
Figura 3.9. Tornillo de potencia……86
Figura 3.10. Tornillo impulsado por servomotor……..87
Figura 3.11. Diagrama de cargas……..90
Figura 3.12. Diagrama de corte……..90
Figura 3.13. Diagrama del momento flector……90
Figura 3.14. Análisis de fuerzas en un tornillo……95
Figura 3.15. Equilibrio de fuerzas de un elemento de tuerca……95
Figura 3.16. Tornillo con collarín……97
Figura 3.17. Rodamientos radiales……..103
Figura 3.18. Rodamientos axiales……103
Figura 3.19. Rodamientos mixtos……104
Figura 3.20a. Soporte para rodamiento anterior……115
Figura 3.20b. Soporte para rodamiento posterior……115
Figura 3.21. Soporte para motor horizontal……116
Figura 3.22. Placa soporte para planchas……..117
Figura 3.23. Placa soporte para planchas……..118

Figura 3.24. Bastidor……..120
Figura 3.25. Esquema de conexión de pines del puerto paralelo……..122
Figura 3.26. Secuencia normal del control de un motor unipolar ……..124
Figura 3.27. Secuencia del tipo wave drive del control de un motor unipolar ….124
Figura 3.28. Secuencia del tipo medio paso del control de un motor unipolar …125
Figura 3.29. Esquema de optoacoplador……125
Figura 3.30a Voltaje sobre la carga con potenciómetro al 50%.....126
Figura 3.30b Voltaje sobre la carga con el potenciómetro a 100%.....126
Figura 3.30c Voltaje sobre la carga cuando el potenciómetro está al 0%.....127
Figura 3.31. Circuito de un conversor a/d……..127
Figura 3.32. Circuito para un LM78XX……128
Figura 4.1. Prototipo de la maquina cortadora de poliestireno expandido con control numérico computarizado ……133
Figura 4.2. Altura del prototipo……134
Figura 4.3. Longitud del tornillo de potencia horizontal……135
Figura 4.4. Rosca métrica……136
Figura 4.5. Acople ……136
Figura 4.6. Carro horizontal ……137
Figura 4.7. Placa soporte de ejes verticales……..137
Figura 4.8. Tuerca de empuje……..138
Figura 4.9. Placa base para planchas de espuma-flex……139
Figura 4.11a. Corte a velocidad 1 y varias temperaturas……147
Figura 4.11b. Perfil de corte a velocidad 1 y varias temperaturas……147
Figura 4.12a. Corte a velocidad 2 y varias temperaturas……148
Figura 4.12b. Perfil de corte a velocidad 2 y varias temperaturas……148
Figura 4.13a. Corte a velocidad 3 y varias temperaturas ……...149
Figura 4.13b. Perfil de corte a velocidad 3 y varias temperaturas……149
Figura 4.14a. Corte a velocidad 4 y varias temperaturas……...150
Figura 4.14b. Perfil de corte a velocidad 4 y varias temperaturas……150
Figura 4.15a. Corte a velocidad 5 y varias temperaturas……151
Figura 4.15b. Perfil de corte a velocidad 5 y varias temperaturas……151
Figura 4.16b. Perfil de corte a velocidad 4 y temperatura 4……152
Figura 4.16a. Corte a velocidad 4 y temperatura 4……..152

RESUMEN

El proyecto desarrollado trata sobre el diseño y la construcción de una maquina cortadora de poliestireno expandido (espuma flex).

El primer capítulo hace referencia a las generalidades del control numérico, sus ventajas y desventajas, así como las aplicaciones de las mismas. También se presentan las generalidades del poliestireno expandido, o comúnmente en nuestro medio llamado espuma flex.

En el segundo capítulo nos centramos en el software, vemos la configuración de los diferentes comandos ¿qué hacen? Y ¿para qué sirven?, cómo se generan los archivos de corte y como se procede a programar para obtener el corte deseado.

El tercer capítulo analiza y desarrolla el diseño mecánico de cada uno de los componentes de la máquina, vemos sus geometrías y las cargas a las que están expuestas. El diseño del sistema electrónico el cual se llevó a cabo en el programa Poteus, así como el algoritmo de programación del microprocesador.

El cuarto capítulo hace referencia a la construcción ensamble y calibración del prototipo, las pruebas para la calibración son basadas con dos criterios fundamentales la geometría el acabado del corte.

El quinto y último capítulo presenta las conclusiones y recomendaciones a las que llegamos después de haber realizado el proyecto.

Finalmente se presentan las referencias bibliográficas y anexos.

PRESENTACIÓN

El desarrollo tecnológico que se ha venido dando en los últimos años, obliga a un cambio en la manera que se elaboran ciertas actividades de manufactura.

Para lograr este desarrollo tecnológico una de las maneras más usadas es la automatización de los procesos.

En el presente proyecto es realizado, con el propósito de alcanzar una mejor calidad, una mayor precisión en los cortes, reducir los costos y disminuir los tiempos de producción, por lo hemos diseñado una máquina automática capaz de lograr varios de estos objetivos.

Para asegurarnos que la maquina diseñada si va a cumplir con su objetivo hemos construido un prototipo el cual nos proporcionara una idea real de el tipo de corte que se va a obtener.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 GENERALIDADES DEL CONTROL NUMERICO

1.1.1 INTRODUCCION CONTROL NUMÉRICO CN

En el mundo de la actualidad se vive un ambiente de muchas expectativas, todo esto debido a los rápidos cambios de la tecnología, los mismos que no van a la par del aprendizaje de las personas por lo cual se ve una ligera ventaja por parte de la tecnología y un desaprovechamiento de la misma. Sin mencionar los cambios de orden político y económico que en cierta medida merman las posibilidades del aparecimiento de soluciones innovadoras, propias para nuestros problemas más elementales.

Se ha visto que los cambios de mayor influencia son la globalización y las políticas de mercados abiertos, es decir una libre competencia al más alto nivel, en donde aparece la imperiosa necesidad de adecuar nuestras industrias para que sean capaces de afrontar el futuro de un mundo consumista, en donde calidad y bajo costo será lo buscado. Frente a este reto del mañana surge la alternativa de la automatización.

Uno de los elementos importantes dentro de este resurgir de la automatización son las máquinas de herramientas de control numérico computarizado, las cuales brindan algunas ventajas adicionales

Desde los orígenes del control numérico todos los esfuerzos se han encaminado a incrementar la productividad, precisión, rapidez y flexibilidad de las máquinas-herramienta. Su uso ha permitido la mecanización de piezas muy complejas, especialmente en la industria aeronáutica, que difícilmente se hubieran podido fabricar de forma manual.

Las maquinas herramienta de control numérico configuran una tecnología de fabricación que de la mano de la microelectrónica, la automática y la informática industrial ha experimentado en los últimos años un desarrollo acelerado y una

plena incorporación a los procesos productivos, desplazando progresivamente a las maquinas convencionales, su capacidad de trabajo automático y de integración de los distintos equipos entre si y con los sistemas de control, planificación y gestión de formación, hacen del control numérico (CN) la base de apoyo a unas tecnologías de fabricación: el COM fabricación flexible y el CIM fabricación integrado por computadora.

1.1.2 MAQUINAS HERRAMIENTAS DE CONTROL NUMERICO

Las Maquinas Herramientas de Control Numérico (MHCN), constituyen una modalidad de automatización flexible más utilizada; éstas son máquinas programadas para fabricar lotes de pequeño y medio tamaño de piezas de formas complicadas; en donde los especialistas se han visto sustituidos programas de software que controlan de manera convencional los cambios de las maquinas y constituciones que incluye las tareas y sus velocidades así como algunas variables de control adaptativo para comprobar aspectos tales como temperatura, vibración, control adaptativo, condición del material, desgaste de las herramientas, etc., que permiten proceder a los reajustes necesarios.

Estas maquinas pueden encontrarse en forma asilada, en cuyo caso se habla de un modulo, o bien interconectadas entre sí por medio de algún tipo de mecanismo automático para la carga y descarga del trabajo en curso, en cuyo caso se hablaría de una célula de fabricación. En ocasiones las maquinas están dispuestas en forma semicircular para que un robot pueda encargarse de manejar los materiales, mientras que en otros la configuración es lineal. Cuando una maquina de control numérico actúa de forma independiente, necesita contar con la presencia de un operario, quien se ocupa de la carga y descarga de las piezas a procesar, los programas y las herramientas.

Algunas maquinas CN incluyen “cartucheras” rotatorias con diferentes herramientas. El programa de ordenador puede seleccionar la herramienta a utilizar, de este modo, una maquina puede encargarse de realizar distintas operaciones que antes habían de hacerse en varias. No solo se reduce el tiempo de lanzamiento, sino que también se simplifica el flujo de ítems en curso por el taller. En otros casos, frente a las maquinas se ubica un carrusel de herramientas,

materiales, etc. y aquellas, sin necesidad de intervención humana, seleccionan con un “brazo” el instrumento o material que necesitan para desarrollar una determinada tarea.

La conveniencia de la utilización de estas maquinas se determina en términos de coste, en donde hay que considerar la mano de obra, la disponibilidad de operarios especializados, tipo y grado de precisión requerida, fiabilidad de las maquinas, etc.

1.1.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE MHCN

Desde otro punto de vista en cuanto a la conveniencia del uso de una máquina herramienta de control numérico, a favor se puede mencionar lo siguiente:

- Incremento de la flexibilidad en la maquinaria (se adapta mejor a los cambios en las tareas y en los programas de producción)
- Incremento en la flexibilidad para el cambio, en la medida en que las instrucciones grabadas se pueden modificar cuando sea necesario, con lo que facilitan la adaptación a los cambios introducidos por la ingeniería de diseño.
- Reducción de necesidades de mano de obra y de inventarios, así como de los tiempos de lanzamiento, de suministro externo y de proceso.
- Mecanización de piezas de difícil elaboración aplicando un procedimiento convencional.
- Fabricación de elementos que requieren gran precisión e intercambiabilidad,
- Seguridad de precisión entre lotes de piezas.
- Aumento de la productividad, debido al menor tiempo total de mecanización así como también por la inexistencia de fatiga del trabajador.

De igual manera se presentan ciertas desventajas que mermarían su conveniencia de uso, entre la cuales destacan:

- La frecuencia de errores en la programación.
- La sensibilidad del lector de las instrucciones a las averías

- Elevada inversión inicial.
- Necesidad imperante de personal calificado: programadores, preparadores, operarios.
- Costo elevado de las averías especialmente de orden eléctrico-electrónico, tanto en el CNC como en la máquina herramienta.

Otro aspecto que cabe mencionar es la poca facilidad de realizar cambios, debido a su configuración física, lo que obliga a los operarios a permanecer junto a la máquina para controlar su funcionamiento o realizar ajustes que fueren necesarios.

1.1.4 FUNCIONES DE LAS MAQUINAS HERRAMIENTAS CNC

Entre las principales funciones de las maquinas herramientas podemos mencionar las siguientes:

i. **Control de la máquina herramienta.** Las maquinas CNC tienen como función principal el control de la máquina herramienta, dicho control comprende la conversión de las instrucciones del programa de la parte en movimiento de la máquina herramienta a través de una computadora de interfase y un servomecanismo.

ii. **Compensación durante el proceso.** Comprende la corrección dinámica del movimiento de la máquina herramienta o la rectificación de errores que ocurre durante el procesamiento. Abarca las siguientes opciones:
    a) Ajuste de errores detectados por sondas y calibradores de inspección durante el proceso.
    b) Ajuste de control adaptable de la velocidad y del avance.
    c) Selección del manejo alternativo de herramienta conforme las instrucciones.
    d) Recálculo de las posiciones de los ejes mediante la localización de la referencia de origen en una pieza de trabajo

iii. **Programación mejorada y características de operación.** Las principales características de este sistema son las siguientes:
    a) Edición de los programas de las partes en la maquina.

b) Despliegue grafico de la trayectoria de la herramienta para verificar la cinta.
c) Proveer diferentes tipos de interpolación: circular, parabólica y cubica.
d) Comprender viejas unidades tradicionales y nuevas unidades métricas.
e) Almacenamiento de diferentes programas.

iv. **Diagnostico.** Las maquinas CNC modernas están equipadas con capacidad de diagnostico. Ésta ayuda tanto a dar mantenimiento y reparar el sistema como para:
a) Minimizar el tiempo muerto.
b) Dar aviso de la falla inminente de algún componente.

1.1.5 APLICACIONES DE LAS MAQUINAS CNC

Actualmente las maquinas herramientas CNC han tomado gran importancia en las industrias. Los procesos básicos que se aplican para maquinar y terminar componentes son torneado, fresado, taladrado, cepillado, planeado y rectificado. Las maquinas herramientas CNC son empleadas para todas estas operaciones dentro de la industria, principalmente debido a :

- En las maquinas herramientas de tipo convencional, los tiempos de corte oscilan entre el 15 y el el 25% del proceso total. En tanto que para una maquina CNC el tiempo de corte es de 75 a 80%, es decir el tiempo de entrega se reduce considerablemente.
- Con frecuencia las partes requieren cambios de diseño. Las maquinas herramientas CNC poseen flexibilidad para adaptar estas partes para la manufactura.
- Se pueden reproducir componentes repetitivos y de calidad precisa en cantidades de lotes. El lote puede ser de cantidades pequeñas o medias.
- Se reduce considerablemente la inversión en el manejo de herramientas y en los accesorios para la sujeción de las mismas.
- Son apropiadas para fabricar componentes que requieren 100% de inspección.

- Debido a su grado de precisión, son muy adecuadas para la fabricación de partes muy costosas con detalles complicados.
- Son de gran utilidad en la fabricación de elementos cuyo proceso de manufactura implique un gran número de operaciones
- Se pueden producir componentes con tolerancias cerradas.
- Por su rapidez de remoción de material, por lo cual son muy apreciadas para operaciones que requieran terminados rápidos.
- Son adecuadas para la producción de elementos complejos.

1.1.6 CONVENCIONES DE LOS EJES

A las distancias o a los ángulos que especifican la posición de un punto, línea, círculo o cualquier otra figura geométrica con referencia a una serie de planos y cilindros que se cortan, se las conoce como sistema de coordenadas. Para el cálculo de la posición de la herramienta de corte o del trabajo es fundamental el conocimiento de dichas coordenadas, de igual manera para conocer la dirección del movimiento y el valor de dicho desplazamiento. El movimiento controlado se establece con respecto a la máquina herramienta. Por lo general, las maquinas tienen dos ejes que controlan la mesa, X y Y, no obstante existen maquinas, por ejemplo el taladro, en las cuales el tercer movimiento controlado se lleva a cabo por medio de la herramienta.

Una maquina de cuatro ejes controla el movimiento de los ejes X, Y y Z asi como el movimiento angular de una mesa rotatoria de trabajo.

Los sistemas de coordenadas que más se emplean en las máquinas herramientas CNC son:

i. Sistemas de coordenadas absolutas
ii. Sistemas de coordenadas incrementales
iii. Sistemas combinadas (absoluto-incremental)

i. Sistema de coordenadas absolutas. En este sistema de coordenadas, todas las mediciones se realizan desde un origen fijo de coordenadas (0,0,0). Éste sirve como referencia desde la cual se realizan todas las mediciones paralelas a los ejes. Frecuentemente el origen se sitúa en un

punto de la mesas de trabajo. La ventaja de este sistema es que el programa de operación puede cambiarse en cualquier momento, porque el sistema regresa a la posición cero después de cada operación. Existen dos formas de definir el origen y son:

a) *Origen fijo.* Siempre se fija en la esquina inferior izquierda de la mesa de trabajo. En este sistema todas las mediciones son positivas con respecto al origen, como se muestra en la figura 1.1

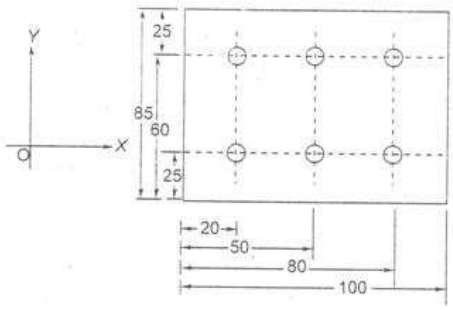


Figura 1.1 Sistema de coordenadas absolutas con origen fijo[1]

b) *Origen flotante.* Este sistema se emplea para la fabricación de partes simétricas que tienen el origen en el centro. Las distancias medidas pueden ser positivas o negativas, lo cual depende de la dirección de la ubicación con respecto al origen. Éste también puede considerarse como un punto que facilita las mediciones de las distancias (figura 1.2).

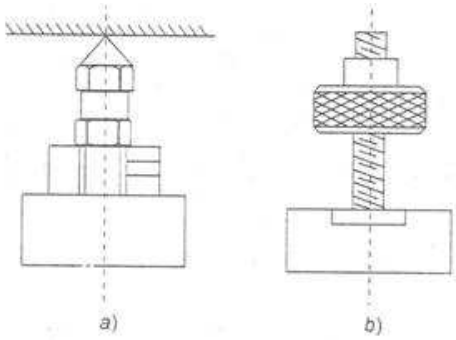


Figura 1.2 Sistema de coordenadas absolutas con origen flotante[2]

[1] BAWA H.S., (2007), *"Procesos de manufactura"*, Ed. Mc Graw-Hill, pág. 509.
[2] Idem.

ii. **Sistema de coordenadas incrementales.** En este sistema, todas las mediciones toman en cuenta la posición final anterior y a partir de ella se da el incremento deseado. Por ello este sistema no necesita un punto de origen determinado. La mayoría de los tornos NC aplican el sistema de coordenadas incrementales. La mayor dificultad de este sistema radica en la edición de los programas de operaciones, puesto que todas las dimensiones dependen de las medidas anteriores, por lo cual deben ingresarse de una sola vez. Si se requiere cambiar alguna de ellas debe detenerse la maquina y nuevamente debe empezar desde la primera operación.

1.1.7 TIPOS DE CONTROL NUMERICO

De acuerdo a las dificultades tecnológicas de mecanizado, así como también a los aspectos económicos de la maquina a automatizar, se han desarrollado una gran cantidad de tipos de CNC, destacando entre ellos los tres siguientes:

a) Control numérico punto a punto
b) Control numérico paraxial.
c) Control numérico continuo o por contorneado.

1.1.7.1 Control numérico punto a punto.

Este tipo de control se utiliza para posicionar la herramienta en los sucesivos puntos donde se realizaran una o varias operaciones de mecanizado. La trayectoria para pasar de un punto a otro no es controlada, ya que las funciones de posición y mecanizado son diferentes, en la figura 1.3 se pude observar un ejemplo de control numérico punto a punto.

1.1.7.2 Control numérico paraxial

Con este tipo de control numérico se pueden gobernar de forma precisa tanto la posición del elemento que se desplaza (pieza o herramienta) como la trayectoria, de acuerdo a la dirección de algunos de los ejes de coordenadas cartesianas. Tomando en cuenta lo anotado, el control paraxial mejora el control punto a punto, ya que además con este tipo de control tenemos un gobierno sobre la trayectoria

seguida, pero con una limitante, siempre sigue líneas rectas paralelas a los ejes de la máquina herramienta. En la figura 1.4 se puede apreciar un ejemplo esquemático de este tipo de control.

1.1.7.3 Control numérico continuo o por contorneado.

Este el sistema que se aplica con mayor frecuencia en casi todas las maquinas herramientas con CNC. En este tenemos un pleno control tanto de posición como de trayectoria, siempre, de forma precisa y sin limitantes como en el tipo paraxial.

A través de la combinación simultanea de dos o tres ejes de coordenadas se pueden realizar perfiles que implican una gran complejidad técnica. Este tipo de control, es denominado 3D (tres dimensiones) porque puede gobernara l mismo tiempo tres movimientos de los ejes. En la figura 1.5 podemos ver este tipo de control por contorneado.

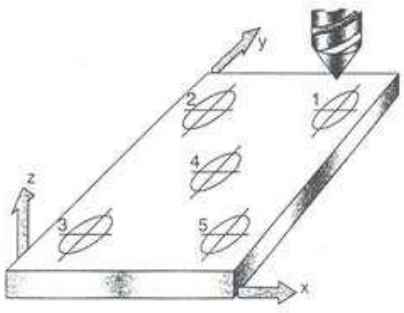


Figura 1.3 Control numérico punto a punto

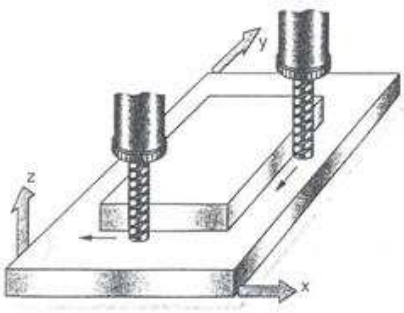


Figura 1.4 Control numérico paraxial

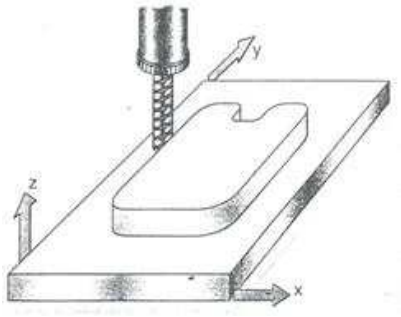


Figura 1.5 Control numérico continuo

1.1.8 DENOMINACION DE LAS MAQUINAS CNC SEGÚN EL TIPO DE MECANIZADO.

El control numérico que gobierna una máquina herramienta CNC, generalmente, viene expresado a través de unos o varios dígitos seguido a continuación de una letra. Dependiendo de dicha letra (figura 1.6) se puede determinar fácilmente el tipo de maquina comandada, así tenemos lo siguiente:

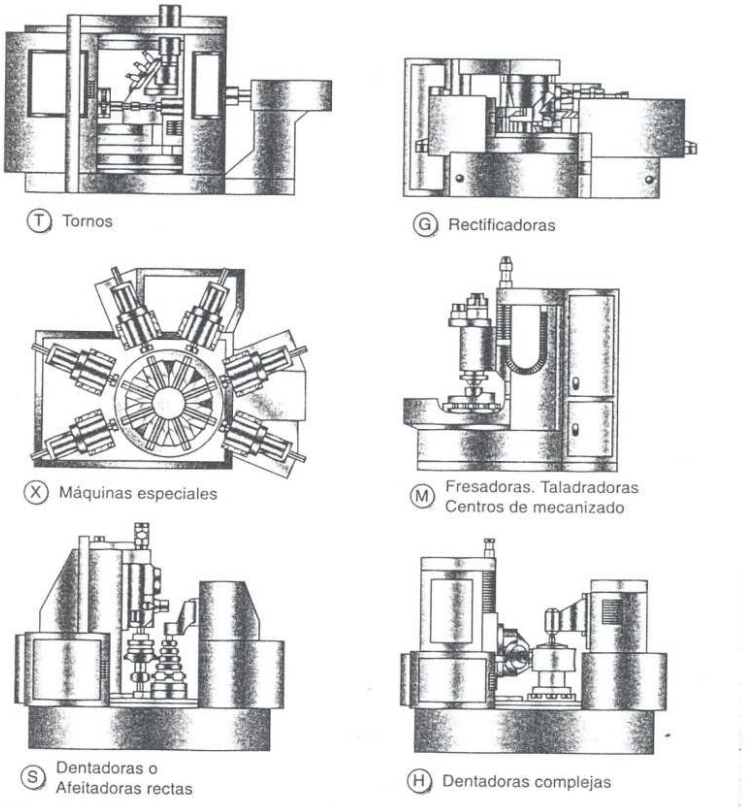


Figura 1.6 Denominación de las máquinas CNC según el tipo de mecanizado

- T, para tornos
- G, para rectificadoras.
- X, para maquinas especiales.
- M, para fresadoras, taladradoras, centros de mecanizado.
- S, para dentadoras o afeitadoras rectas.
- H, para dentadoras complejas.

1.1.9 ELEMENTOS PRINCIPALES DE LOS SISTEMAS CNC

La calidad de una pieza terminada depende fundamentalmente de las posiciones relativas entre la pieza a maquinar, la herramienta de corte y el tipo de operación de maquinado. Esto solo se lo puede conjugar en un sistema denominado máquina herramienta, puesto que presenta ciertas características especiales como:

a) Posee suficiente resistencia para soportar las fuerzas de corte.
b) Posee rigidez contra la deformación bajo carga.
c) Es suficientemente rígida
d) Las partes móviles trabajan con precisión.

De esta manera es claro concluir que en una máquina herramienta sobretodo debe asegurarse que la precisión de la ubicación relativa y la alineación de todas las partes componentes se mantengan se mantengan a lo largo del rango de trabajo de la máquina herramienta.

A continuación se expone con detalle los principales elementos que componen una máquina herramienta CNC.

1.1.9.1 Estructura principal de una máquina herramienta CNC

En cuanto a la estructura principal de una máquina herramienta CNC, es bastante similar a la de una máquina herramienta convencional, ya que se compone de una bancada, columna y algunos otros elementos, como por ejemplo el cabezal de un torno. La función principal de estos elementos es proporcionar soporte adecuado a las partes móviles y deslizantes, a las monturas y a los accesorios, así como

mantenerlos alineados. Para obtener un diseño satisfactorio de una máquina herramienta, es necesario considerar los siguientes puntos:

1. Los requisitos de diseño de la máquina herramienta.
2. El tipo de operaciones que se deben realizar.
3. El propósito de la máquina herramienta
4. Los tipos de fuerza y métodos de corte
5. Los requerimientos de potencia de la máquina herramienta
6. Las condiciones de carga
7. La forma de la viruta y la cantidad de material que se retirará.
8. Los esfuerzos probables que actuaran sobre la estructura.
9. Los requerimientos de instalación de la máquina herramienta.

1.1.9.1.1 Clasificación de las estructuras

Las diversas estructuras de las maquinas herramientas se pueden clasificar en:

1. De acuerdo con el método de producción en:
    a) Estructuras fundidas
    b) Estructuras fabricadas y soldadas
    c) Una combinación de las anteriores
2. De acuerdo con la forma, como bancadas, columnas, pilares, cajas, ménsulas, bancadas planas.
3. De acuerdo con el propósito, como conductores de piezas, cajas, bases y cubiertas.

Las máquinas herramientas difieren unas de otras de la siguiente manera:

a) El numero de ejes de corte que emplean
b) La forma en la que la herramienta y la pieza de trabajo se mueven una en relación a la otra

La generación de una superficie exacta depende fundamentalmente del diseño de los husillos principales, mientras que la precisión del movimiento de avance se basa en el diseño de la bancada. El acabado superficial depende de la capacidad de amortiguación de la máquina, del diseño de la herramienta y del avance.

Por lo general, las bancadas, columnas y marcos se fabrican de hierro fundido, principalmente debido a su economía, fácil maquinado y capacidad para tolerar cargas de compresión.

No obstante, el acero dulce tiene una ventaja sobre el hierro fundido en el sentido en que se puede fabricar mediante soldadura, que ayuda cuando se requiere producir formas más intrincadas.

1.1.9.2 Correderas y guías

De manera general, las maquinas herramientas cuentan con mesas, correderas, carros, etc. para transportar las piezas o a su vez las herramientas de trabajo. Estos componentes tienen, por lo tanto, una naturaleza deslizante se montan sobre guías Son fijadas sobre otras partes, como es el caso de la columna de alojamiento, bancada o ménsula.

Durante las operaciones de maquinado, la pieza de trabajo o la herramienta de corte se desplaza en línea recta o en círculo, en las maquinas herramientas se utilizan dos tipos de guías:

a) Guías de fricción deslizante
b) Guías de fricción rodante.

Las principales características de este tipo de guías son las siguientes:

1. Precisión del desplazamiento
2. Durabilidad
3. Rigidez
4. Resistencia al desgaste y la rotura.

1.1.9.2.1 Materiales para guías

La fundición de hierro gris es el material que generalmente se emplea para la construcción de guías, de manera especial cuando son parte integral de la bancada. Cuando se utilizan guías de acero endurecido y templado se sueldan o se atornillan a una bancada de hierro fundido. En la actualidad los plásticos están

ganando un espacio como material de construcción para guías debido a sus propiedades auto lubricantes y anticorrosivas.

1.1.9.2.2 Tipos de guías

Clasificándolas de una manera muy amplia a las guías se las puede agrupar en dos categorías:

a) Guías cerradas.
b) Guías abiertas.

Las correderas de deslizamiento (guías) se utilizan para permitir el movimiento entre dos miembros de una máquina herramienta, como el carro y la bancada en u torno. Estos accesorios proporcionan ajuste y alineación, una amplia capacidad de transmisión de carga y una solución factible para el desgaste y lubricación. Las guías deben ser muy precisas, tener un alto acabado superficial, un bajo coeficiente de fricción y resistencia al desgaste normal. Las guías son de tipo:

- Deslizantes de fricción.
- Antifricción.

Las guías que se utilizan convencionalmente en las maquinas herramientas son guías en V, planas redondas, y cola de milano, como se esquematiza en la figura 1.7.

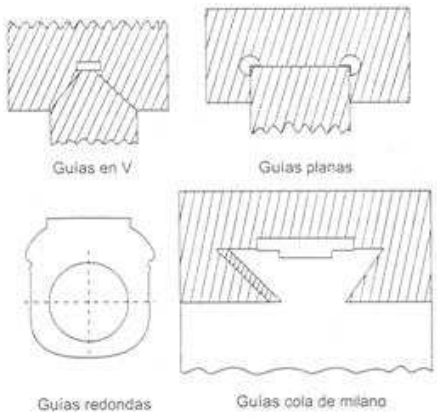


Figura 1.7 Diferentes tipos de guías que se utilizan en las maquinas herramientas[3]

[3] BAWA H.S., (2007), *"Procesos de manufactura"*, Ed. Mc Graw-Hill, pág. 511

La selección de la guía depende de los siguientes principios fundamentales:

a) Capacidad de transferencia de carga
b) Posición de las guías
c) Facilidad de lubricación
d) Lubricación eficaz

Las *guías en V* tienen dificultades de fabricación. Sin embargo, muestran ventajas ya que pueden hacer ajustes automáticamente, debido a la acción de la gravedad y a la acción de cuña, ya que se elimina el cabeceo transversal.

Las *guías planas* se caracterizan por su simplicidad de manufactura: ofrecen una área grande de soporte para mover las piezas. Se utilizan en conjunción con las guías en V como correderas.

Las *guías de cola de milano* tienen simples ajuste de claros mediante una simple nervadura ahusada o plana. Se utilizan en las mesas de las fresadoras, planas y en ángulo.

Las *guías cilíndricas* son de manufactura sencilla. Se utilizan muy raramente debido a su baja rigidez y se emplean principalmente en pilares de taladradoras radiales.

En los últimos años, y con el fin de disminuir los efectos de la fricción, se han desarrollado diferentes tipos de guías entre los cuales citaremos los siguientes:

1. Guías tipo hidrostático.
    a) Lubricadas con aceite.
    b) Con soporte de aire.
2. Guías con rodamientos
    a) De bolas
    b) De rodillos
3. Guías resistentes al desgaste.

1.1.9.3 Husillo

La precisión de maquinado de una máquina herramienta depende considerablemente de la precisión rotacional de los husillos. La *precisión rotacional* de una máquina herramienta es la medida de la desviación del extremo frontal del husillo. La *rigidez* de un husillo recae en su capacidad para conservar su posición correcta cuando diversas fuerzas de trabajo actúan sobre él. Los husillos también deben ser resistentes al desgaste y prueba de vibraciones.

Dentro de una máquina herramienta el husillo obtiene potencia de su unidad de transmisión y la entrega al trabajo, como en el caso del torno, o hacia la herramienta, como en un taladro o en una fresadora. Como funciones principales del husillo tenemos:

a) Centrar el trabajo o la herramienta.
b) Sujetar el trabajo o la herramienta.
c) Hacer girar el trabajo o la herramienta.

Debido a dichas funciones aparecen los requerimientos de rigidez, estabilidad y corta longitud. De igual manera debe ser capaz de transmitir un esfuerzo de distorsión mínimo y estar lo más cercano posible al rodamiento frontal para mantener la estabilidad.

Los husillos se fabrican con un acero endurecido de aleación (0.4-0.45% de carbono), o de acero de baja aleación. Los husillos se suministran con un orificio cónico en el extremo frontal para recibir el elemento para centrado. Debido a la necesidad de precisión, el eje del orificio cónico y el eje de rotación del husillo deben ser concéntricos.

1.1.9.4 Rodamientos del husillo

Para reducir la fricción, los husillos se soportan dentro de la caja mediante más de un par de rodamientos. El tipo y número de rodamientos que se utilizan dependen de las fuerzas que entran en acción. Durante el trabajo cargas radiales y axiales actúan sobre los rodamientos. Para satisfacer estas dos condiciones se utilizan rodamientos cónicos, ya que de no ser así se necesitarían dos juegos separados

de ellos. Para disminuir el efecto del pandeo axial, los rodamientos se localizan cerca de la nariz del husillo.

La ubicación de un rodamiento depende de muchos factores, tales como:

a) Deflexión permisible
b) Cantidad de juego radial
c) Carga previa de los rodamientos

Los husillos en las maquinas herramientas son montados en los llamados rodamientos frontales, para ello se usan los siguientes tipos de rodamientos:

a) Rodamientos precargados de rodillos cónicos.
b) Rodamientos precargados de bolas
c) Rodamientos axiales hidrostáticos
d) Rodamientos de retención de aceite.

1.1.9.5 Sistemas de transmisión

El sistema de transmisión de las maquinas herramientas está compuesto por una transmisión eléctrica y una carga mecánica. Ello indica que el sistema de transmisión consta de dos partes: la transmisión eléctrica y la carga mecánica. La mayoría de los equipos de producción que se utilizan en las organizaciones industriales modernas constan de tres componentes importantes: el motor primario, el dispositivo transmisor de energía y el equipo que realiza el trabajo real. La función de los motores primarios y de los dispositivos de transmisión de energía es impartir movimiento y accionar ala tercero. El motor eléctrico es el primario que más se emplea para el husillo. Su desempeño es muy superior al de los otros tipos de motores primarios. La selección de la transmisión eléctrica depende de los requerimientos de la maquina CNC y sus propósitos. En las maquinas herramientas convencionales se utilizan cajas de engranajes de cambios múltiples, que no son adecuadas para las maquinas herramientas CNC ya que estas requieren de una gran variación del rango del husillo (10 a 2800 rpm).

En las maquinas CNC, es necesario un rango correcto de velocidad y de avance, objetivos que se alcanzan con el uso de los siguientes motores:

a) De fluidos.
b) Eléctricos CA.
c) Servomotores eléctricos CD.

Los primeros dos son los más empleados para el accionamiento del husillo.

En una máquina herramienta CNC el sistema de transmisión está compuesto por una transmisión eléctrica y una carga mecánica. Dentro de la transmisión eléctrica los componentes principales son: el motor primario, el dispositivo transmisor de energía y el equipo que realiza el trabajo real.

Los dos primeros tienen como función principal el impartir movimiento y accionar al tercero. El motor eléctrico es el más comúnmente empleado como motor primario.

1.1.9.5.1 Servo transmisiones CA y CD

Los servomotores son empleados para transformar señales de comando de entrada en movimiento mecánico. En los sistemas de control automático es muy usual el empleo de servomotores ca, servomotores cd, motores paso por paso y electro magnetos.

Servomotores ca. Se diseñan como motores de inducción con un rotor de jaula y con estator con dos devanados: devanado de control y devanado de excitador. El devanado excitador debe ir conectado a la fuente de corriente alterna, en tanto que el de control se lo emplea para recibir las señales de comando, mientras que el rotor permanece inmóvil hasta que llegue la señal.

Servomotores cd. Los motores conmutadores, que son los servomotores más empleados, tienen voltaje separado de excitación y variable de armadura. El circuito de la armadura se puede alimentar desde un amplificador o desde un contactor. La dirección y velocidad de rotación de la armadura dependen de la magnitud y la polaridad del voltaje de la armadura.

El uso de los servomotores es adecuado para la ejecución de actividades de trabajo ligero así como también para el movimiento de la herramienta de corte o el trabajo a las posiciones deseadas.

1.1.9.5.2 Motores por pasos.

Los motores por pasos (paso a paso) son de funcionamiento suficientemente rápido y pueden convertir una señal eléctrica en una vuelta del rotor en un ángulo dado. Su estator pude tener seis polos con devanados, los devanados de polos opuestos se conectan en serie. Cuando se energiza diferentes fases, el rotor se puede hacer girar diferentes ángulos. En la actualidad se emplean motores de paso con la flecha dividida en 200 partes, es decir, cada parte se convierte en un ángulo de 1.8^{o}, al que se conoce como paso. Para recorrer una distancia determinada con un tornillo de avance, primero que nada la distancia se convierte en pulsos, un contador cuenta estos pulsos, los mismos que son alimentados al motor a través del sistema de control. Éste hace girar al motor el número específico de estaciones.

1.1.9.5.3 Transmisiones hidráulicas neumáticas.

En algunas maquinas CNC también se utilizan motores de fluidos. En estos motores, una bomba suministra continuamente aceite o aire a presión a las paletas del motor que giran a altas velocidades debido a la presión hidráulica.

En la actualidad las transmisiones hidráulicas se utilizan ampliamente, de acuerdo con el requerimiento, se emplean dos tipos de bombas: las de gasto constante y las de gasto variable.

En los sistemas de control automático se emplean ampliamente servomotores hidráulicos, entre los cuales los más utilizados son los de tipo no rotatorio de pistones. El equipo consiste de un cilindro hidráulico con un pistón y una biela. El fluido dirigido al cilindro mueve el pistón, que se conecta a la biela. Ésta da el movimiento necesario ala elemento correspondiente de un mecanismo de control. El sistema hidráulico se emplea ampliamente ya que posee un amplio rango de velocidades y una alta capacidad de transmisión de potencia, es más rígida que otras transmisiones y no tiene el efecto de contragolpe.

Los motores neumáticos son de dos tipo, tipo pistón y tipo diafragma, el funcionamiento y diseño de los motores tipo pistón son similares a los motores hidráulicos de pistones. A continuación se exponen el funcionamiento del motor tipo diafragma.

Se monta un diafragma de hule entre la carcasa y la tapa, como se muestra en la figura 1.8, se sostiene con un disco de acero que se sujeta en la varilla, la cual se retiene en la posición extrema izquierda mediante un resorte. Cuando se suministra aire comprimido a través de la abertura en el manguito a la cámara de la izquierda del diafragma, éste se flexiona. El diafragma comprime el resorte y empuja el disco junto con la varilla hacia la derecha. Éstos motores son adecuados para longitudes de carrera comparativamente pequeñas.

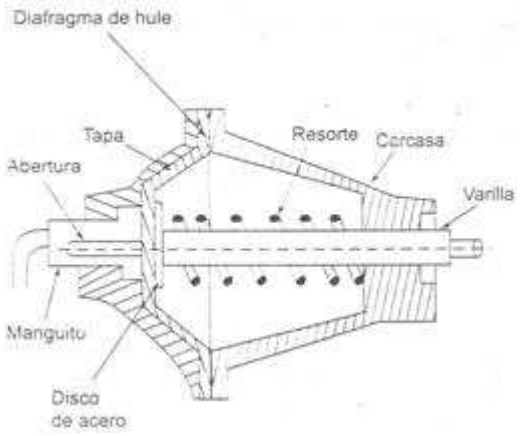


Figura 1.8 Motores neumático[4]

1.1.9.6 Dispositivo transmisor de energía

El tornillo de avance convencional y su ensamble de tuerca no es adecuado para las maquinas herramientas CNC puesto que existe una menor capacidad de transmisión de potencia además de una menor precisión producto del contragolpe y de las mayores fuerzas de fricción. Para evitar dicha circunstancia no deseada, se recomienda el uso del tornillo de bolas recirculatorias y su ensamble de tuerca, como se muestra en la figura 1.9, el mismo que es altamente eficiente, de operación reversible, muy resistente al desgaste, de menor fricción y de mayor vida útil.

[4] BAWA H.S., (2007), *"Procesos de manufactura"*, Ed. Mc Graw-Hill, pág. 511.

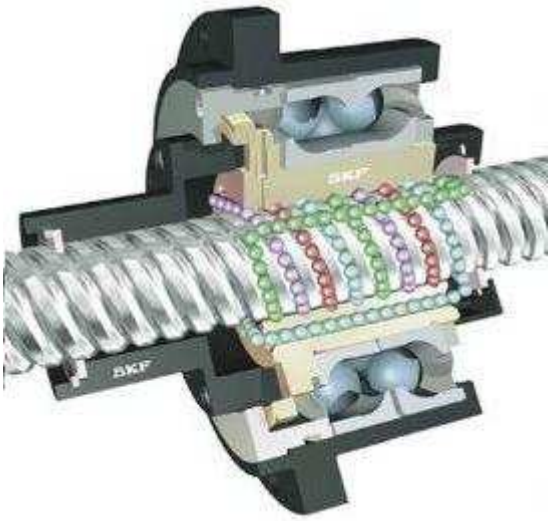


Figura 1.9 Tornillo de bolas recirculatorias y ensamble de tuerca[5]

1.1.10 CONTROLADOR

Es un dispositivo o elemento que controla la transferencia de potencia de una fuente externa a su salida, de acuerdo con una señal de entrada o un comando previamente determinado. En muchos sistemas eléctricos, la señal de control frecuentemente es muy pequeña para que pueda ser utilizada directamente. Dicha energía puede amplificarse con el uso de amplificadores, que frecuentemente se clasifican como controladores. De esta manera se puede concluir que un controlador es un dispositivo que recibe una señal de control de baja potencia, junto con potencia de una fuente externa y provee una mayor cantidad de potencia controlada.

A los controladores los podemos clasificar en dos grupos, continuos y discontinuos. En los continuos la señal de salida varía continuamente de acuerdo a la entrada. En tanto que para los discontinuos, la potencia de salida se controla en pasos discretos.

De acuerdo con el principio de operación, los controladores pueden clasificarse cono se detalla a continuación:

i. **Controladores eléctricos**. En las maquinas herramientas CNC se utiliza un amplio rango de amplificadores eléctricos. Los amplificadores

[5] (http://www.skfprodind.skf.es/.../pg_BallScrews.jpg)

electrónicos se encuentran en los sistemas de baja potencia e incluyen tanto amplificadores de CA como de CD. Los amplificadores rotatorios son aparatos electromecánicos que incluyen dispositivos como el metadyne y el amplidyne. El poder de salida de estos amplificadores es del orden de los kilowatts. Los amplificadores magnéticos son dispositivos accionados por corriente con una salida de potencia generalmente menor a 1 Kw, su uso generalmente se orienta a aplicaciones de alta potencia. Los controladores tipo discontinuo incluyen control de tiristor, ignitron y amplificadores tiratrón.

ii. **Controladores mecánicos**. La mayoría de los controladores mecánicos cuentan con motores eléctricos, por lo cual no son únicamente mecánicos. El amplificador de torque es un controlador mecánico.

iii. **Controladores neumáticos**. Son accionados con aire comprimido. Su utilización se da en sistemas de control de proceso, así como también en proyectos aeroespaciales donde se requiere alta presión.

iv. **Controladores hidráulicos**. Estos controladores utilizan fluidos incompresibles, por ejemplo el aceite, son frecuentemente empleados en aeronaves donde la vibración, el impacto y el ruido pueden provocar daños a los finos cables y afectar el funcionamiento normal de un equipo eléctrico. También se usan en maquinas herramientas, en control de velocidad y en los sistemas de posicionamiento.

1.1.11 UNIDAD DE CONTROL DE LA MAQUINA

La unidad de control de la maquina (UCM) también se la conoce como controlador NC, lee el programa NC, lo interpreta y lo traduce inversamente para que la máquina herramienta lleve a cabo las acciones mecánicas que correspondan.

El lector de cinta es un dispositivo electromecánico para enrollar y leer la cinta perforada que contienen el programa de instrucciones. En el lector de cinta CN se emplean las siguientes técnicas para detectar el patrón de agujeros de la cinta:

a) Celdas fotoeléctricas
b) Dedos de contacto eléctrico
c) Método de vacio

De todos los métodos anotados, la celda fotoeléctrica es la mas confiable y en la actualidad es el que predomina.

Cada máquina herramienta NC consiste en una unidad principal conocida como UCM que consta de circuitos electrónicos (físicos) que leen el programa NC, lo interpretan y lo transforman en acciones mecánicas.

Generalmente se usan los tres siguientes tipos de UCM:

i. **UCM integrada.** Una UCM integrada se monta en la máquina herramienta o se fija en la cubierta de la máquina.
ii. **UCM giratoria.** Este tipo de UCM se puede hacer girar alrededor de la máquina herramienta. Se puede ajustan conforme a los requerimientos en cuanto a posición del operario.
iii. **UCM independiente.** Este tipo de UCM se aloja en un gabinete separado cercano a la máquina herramienta,

1.1.11.1 Elementos de la UCM

Una UCM se compone de los siguientes elementos:

i. **Unidad lectora o de entrada.** Consiste en un dispositivo electromecánico que se utiliza para captar la entrada, transferirla al sistema mediante una cabeza lector, interpretar la información codificada y reunirla para su utilización. Diferentes tipos de lectores de programas, disponibles con base en el tipo de medio de entrada, son el lector de tarjetas, el lector de cinta perforada, le lector tipo mecánico, el lector neumático, el lector óptico y el lector de cinta magnética.
ii. **Memoria intermedia de datos (memoria).** Lee las instrucciones de la cinta y las almacena en una memoria temporal. La memoria almacena el siguiente bloque de palabras cuando la máquina está realizando el trabajo anterior.
iii. **Procesador.** Actualmente los procesadores trabajan en base a la tecnología de circuitos integrados. Los que se emplean son procesadores físicos y de software. Los procesadores controlan y coordinan las funciones de otras unidades.

iv. **Canales de salida y actuadores.** Los canales de salida convierten los datos almacenados en la memoria intermedia en una señal de accionen forma de pulsos. Estas señales, que son de voltajes y corrientes muy pequeñas, se amplifican con amplificadores o tiristores, que impulsan (accionan) los motores servo, divididos o por pasos, para posicionar y contornear la máquina herramienta.

v. **Tablero de control.** Es una accesorio que utiliza el operario para interferir manualmente en la operación de la maquina.

vi. **Canales de retroalimentación y transductores.** Los canales de retroalimentación se emplean para verificar si las operaciones se realizan en el orden apropiado. Los transductores se utilizan para medir desplazamientos, además, convierten una forma de medición física en otra.

1.1.12 DISPOSITIVOS DE RETROALIMENTACION

Las maquinas CNC están equipadas con componentes eléctricos y electrónicos para convertir cantidades físicas, como la velocidad, avance, desplazamiento, etc en señales eléctricas que proporcionan retroalimentación. A estos dispositivos se les conoce como transductores.

Los dos tipos de retroalimentación que se utilizan para conformar el sistema de lazo cerrado son:

a) Retroalimentación de velocidad
b) Retroalimentación de posición.

En general, la retroalimentación de velocidad se requiere en las aplicaciones de contorneado que pueden ser de tipo analógico o digital. Es usual que el dispositivo de retroalimentación de salida analógica se monte en la flecha del servomotor, o que se encuentre integrado a él. El dispositivo de retroalimentación digital se utiliza para medir la velocidad de la flecha.

El dispositivo de retroalimentación de posición se emplea para medir la posición de la arista de la herramienta con referencia a la corredera de la máquina. Es muy difícil medir con precisión la posición de la arista de la herramienta debido a la presencia de rebabas, soportes, accesorio9s de sujeción, complejidad del

componente y desgaste de la herramienta. Por ello se mide la posición de la corredera mediante la fijación de una parte del transductor a la estructura de la máquina herramienta y la otra parte a la corredera móvil de la máquina. La medición de la posición de la corredera o de la mesa se puede registrar de forma analógica o de forma digital.

1.1.13 PRINCIPIOS BASICOS DE PROGRAMACION

Para la realización de un programa se deberá tener en cuenta algunos factores, algunos de ellos similares a los considerados en las maquinas convencionales. Estos factores podemos dividirlos en factores geométricos y factores tecnológicos.

Los factores de geometría de la pieza contienen datos sobre sus dimensiones (plano de taller), además de:

- Tolerancias
- Acabado superficial
- Origen de movimiento
- Superficies de referencia, etc

En cuanto a los factores tecnológicos se debe considerar:

- Material de la pieza
- Velocidad de corte
- Clases de herramientas a utilizar
- Tipo de mecanizado
- Velocidades de avance
- Profundidad de pasada. Etc.

De igual manera se deberá elaborar una pauta o proceso de trabajo lo más lógico posible, en base a la experiencia de cada programador, procurando que dicho procesos evite choques o colisiones entre pieza y herramienta, así como también desplazamientos innecesarios (movimientos improductivos).

El programador introduce datos a la maquina por medio del armario de control. Las órdenes se dan a la máquina CNC por medio de números, letras y signos

que son conocidos por el programador y que son entendidos por la máquina. Esto se lo conoce como *lenguaje de programación* o *lenguaje maquina.*

Con los antecedentes expuestos, el programador elabora el programa, es decir escribe en papel los signos, letras, números para lograr la geometría de la pieza de acuerdo con el tipo de máquina herramienta y control numérico que se posea, con las condiciones y características que marca el plano de taller.

Resumiendo se puede anotar, que la programación es un conjunto de letras, signos y números que son introducidos al CNC y que nos permiten manejar la máquina herramienta en las diferentes acciones, como:

1. Desplazamientos de piezas y herramientas.
2. Velocidades de avance.
3. Rotación de la herramienta o pieza.
4. Profundidad de pasada.
5. Selección de herramienta, etc.

Así establecemos las condiciones que deben darse para el funcionamiento correcto entre el CNC y la máquina herramienta.

El programa se subdivide as u vez en varias órdenes más pequeñas llamadas *bloques*, los cuales contienen información de una operación elemental. A su vez, los llamados bloques están compuestos por letras, acompañadas de un valor numérico que puede tener uno o dos cifras.

1.2 GENERALIDADES POLIESTIRENO

1.2.1 INTRODUCCIÓN

El poliestireno fue obtenido por primera vez en Alemania por la I.G. Farbenindustrie, en el año 1930. El proceso más utilizado hoy día para su fabricación es el de "polimerización en masa", habiendo quedados obsoletos los procesos en emulsión y en solución.

La polimerización del estireno puro da como resultado un poliestireno puro que es un sólido incoloro, rígido, frágil y con flexibilidad limitada. A este poliestireno puro

se lo denomina “poliestireno cristal” o “poliestireno de uso general” (General Purpose Polystyrene, GPPS). Debajo de los 95 ºC (temperatura de transición vítrea del poliestireno), el poliestireno cristal es vítreo, por encima de esa temperatura a.C. más blando y puede moldearse.

Recientemente se ha desarrollado una nueva clase de poliestireno que recibe el nombre de sindiotáctico. El poliestireno "normal" o poliestireno atáctico no conserva ningún orden con respecto al lado de la cadena donde están unidos los grupos fenilos. El "nuevo" poliestireno es cristalino y funde a 270 ºC, pero es mucho más costoso. Sólo se utiliza en aplicaciones especiales de alto valor añadido.

Otro material de esta familia es el "poliestireno expandido" (EPS, siglas en inglés). Consiste en 95% de poliestireno y 5% de un gas que forma burbujas que reducen la densidad del material. Su aplicación principal es como aislante en construcción y para el embalaje de productos frágiles la densidad es de 1.06 g/cm3.

Las ventajas principales del poliestireno son su facilidad de uso y su coste relativamente bajo. Sus principales desventajas son su baja resistencia a la alta temperatura (se deforma a menos de 100ºC) y su resistencia mecánica modesta.

1.2.2 OBTENCIÓN

El poliestireno es un polímero que se obtiene por medio de un proceso denominado polimerización, que consiste en la unión de muchas moléculas pequeñas para lograr moléculas muy grandes. La sustancia obtenida es un polímero y los compuestos sencillos de los que se obtienen se llaman monómeros.

El monómero utilizado como base en la obtención del poliestireno es el estireno (vinilbenceno): C6 H5 – CH = CH2 (Figura 1.10)

A escala industrial, el poliestireno se prepara calentando el etilbenceno (C6 H5 – CH2 - CH3) en presencia de un catalizador para dar lugar al estireno (C6 H5 – CH = CH2). La polimerización del estireno requiere la presencia de una pequeña cantidad de un iniciador, entre los que se encuentran los peróxidos, que opera

rompiéndose para generar un radical libre. Este se une a una molécula de monómero, formando así otro radical libre más grande, que a su vez se une a otra molécula de monómero y así sucesivamente. Finalmente se termina la cadena por reacciones tales como la unión de dos radicales las cuales consumen pero no generan radicales.

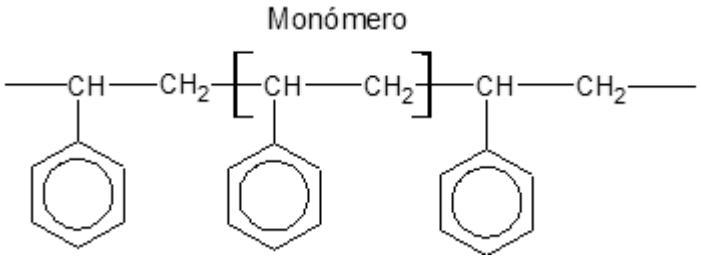


Figura 1.10 Monómero del estireno.[6]

1.2.3 PROPIEDADES

Hay que tener en cuenta que, además de los enlaces covalentes que mantienen unidas a las moléculas de los monómeros, suelen producirse otras interacciones intermoleculares e intramoleculares que influyen notablemente en las propiedades físicas del polímero, que son diferentes de las que presentan las moléculas de partida. El poliestireno, en general, posee elasticidad, cierta resistencia al ataque químico, buena resistencia mecánica, térmica y eléctrica y baja densidad.

El poliestireno es un polímero termoplástico. En estos polímeros las fuerzas intermoleculares son muy débiles y al calentar las cadenas pueden moverse unas con relación a otras y el polímero puede moldearse. Cuando el polímero se enfría vuelven a establecerse las fuerzas intermoleculares pero entre átomos diferentes, con lo que cambia la ordenación de las cadenas.

1.2.4 TRANSFORMACIÓN DEL POLIESTIRENO Y APLICACIONES

Las técnicas de transformación más utilizadas en la transformación de los plásticos son:

[6] (http://www.textoscientificos.com/imagenes/polimeros)

Extrusión: el polímero es calentado y empujado por un tornillo sin fin y pasa a través de un orificio con forma de tubo. Se producen por extrusión tuberías, perfiles, vigas y materiales similares.

Inyección: El polímero se funde con calor y fricción y se introduce en un molde frío donde el plástico solidifica. Este método se usa para fabricar objetos como bolígrafos, utensilios de cocina, juguetes, etc.

Extrusión con soplado: En primer lugar se extrusiona un tubo de plástico que se introduce en un molde que se cierra alrededor del plástico. Entonces se introduce aire dentro del tubo de plástico, el cual se ve obligado a adquirir la forma del molde. Esta es la forma en que se obtienen las botellas de plástico.

El *poliestireno de alto impacto* se utiliza principalmente en la fabricación de objetos mediante moldeo por inyección. Según las aplicaciones se le pueden añadir aditivos como por ejemplo sustancias ignífugas o colorantes.

El *poliestireno cristal* se utiliza también en moldeo por inyección allí donde la transparencia y el bajo coste son importantes. Otra aplicación muy importante es en la producción de espumas, denominadas a veces XPS, a no confundir con el poliestireno expandido EPS. Estas espumas se utilizan por ejemplo para las bandejas de carne de los supermercados, así como en la construcción.

La forma expandida (poliestireno expandido) se utiliza como aislante térmico y acústico y es ampliamente conocido bajo diversas marcas comerciales (Poliexpan o porexpán, Telgopor, etc.)

Tabla 1.1 Métodos de fabricación del poliestireno y sus usos

MÉTODO DE FABRICACIÓN	USOS
Moldeo Por inyección	Juguetes. Carcasas de radio y televisión. Partes del automóvil. Instrumental médico. Menaje doméstico. Tapones de botellas. Contenedores

MÉTODO DE FABRICACIÓN (continuación)	USOS (continuación)
Moldeo por soplado	Botellas Contenedores Partes del automóvil
Extrusión	Películas protectoras Perfiles en general Reflectores de luz Cubiertas de construcción
Extrusión y termoconformado	Interiores de frigoríficos Equipajes Embalajes alimentarios Servicios desechables Grandes estructuras del automóvil

Fuente: http://www.textoscientificos.com/polimeros/poliestireno
Elaborado: Leonardo Beltrán - Santiago Vela

Envases de alimentos: Uno de los mayores consumos de poliestireno se encuentra en todo lo relacionado con envases para alimentos; es muy común verlo en potes de productos lácteos (yogur, quesos, dulces, etcétera) tanto como en bandejas, recipientes y estuches en locales de comida rápida. Pueden ser transparentes, de color, espumados o expandidos. El OPS (poliestireno biorientado) es también ampliamente usado en estas aplicaciones por su excelente cristalinidad y brillo, que realza la apariencia de los productos dentro del envase.

Vajilla y bazar: Vajilla descartable, platos, bandejas, vasos, cubiertos, etcétera. Vajilla para avión y artículos de bazar de todo tipo.

Electrodomésticos- Electrónicos: Dentro del rubro Electrodomésticos, es importante su utilización en refrigeración: para paneles interiores de heladeras, bandejas y crispers interiores. También se usa en televisión y audio.

Otros: Cosmética, juguetería, calzado, placas aislantes para la construcción, separadores de fruta, etcétera.

1.2.5 POLIESTIRENO EXPANDIDO

1.2.5.1 Definición

El ***Poliestireno Expandido*** (EPS) se define técnicamente como:

"Material plástico celular y rígido fabricado a partir del moldeo de perlas preexpandidas de poliestireno expandible o uno de sus copolímeros, que presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire".

La abreviatura EPS deriva del inglés Expanded PolyStyrene. Este material es conocido también como Telgopor, Corcho Blanco, espumaflex,etc.

1.2.5.2 Historia

En 1831 un líquido incoloro, el estireno, fue aislado por primera vez de una corteza de árbol. Hoy día se obtiene mayormente a partir del petróleo.

El poliestireno fue sintetizado por primera vez a nivel industrial en el año 1930. Hacia fines de la década del 50, la firma BASF (Alemania) por iniciativa del Dr. F. Stastny, desarrolla e inicia la producción de un nuevo producto: poliestireno expandible, bajo la marca Styropor. Ese mismo año fue utilizado como aislante en una construcción dentro de la misma planta de BASF donde se realizó el descubrimiento. Al cabo de 45 años frente a escribanos y técnicos de distintos institutos europeos, se levantó parte de ese material, y se lo sometió a todas las pruebas y verificaciones posibles. La conclusión fue que el material después de 45 años de utilizado mantenía todas y cada una de sus propiedades intactas.

1.2.5.3 Propiedades y características poliestireno expandido

1.2.5.3.1 Densidad

Los productos y artículos terminados en poliestireno expandido se caracterizan por ser extraordinariamente ligeros aunque resistentes. En función de la aplicación las densidades se sitúan en el intervalo que va desde los 10kg/m3 hasta los 35kg/m3.

1.2.5.3.2 Color

El color natural de poliestireno expandido es blanco, esto se debe a la refracción de la luz.

1.2.5.3.3 Resistencia mecánica

La densidad del material guarda una estrecha relación con las propiedades de resistencia mecánica. Los gráficos a continuación muestran los valores alcanzados sobre estas propiedades en función de la densidad aparente de los materiales de poliestireno expandido.

1.2.5.3.4 Aislamiento térmico

Los productos y materiales de poliestireno expandido presentan una excelente capacidad de aislamiento térmico. De hecho, muchas de sus aplicaciones están directamente relacionadas con esta propiedad: por ejemplo cuando se utiliza como material aislante de los diferentes cerramientos de los edificios o en el campo del envase y embalaje de alimentos frescos y perecederos como por ejemplo las cajas de pescado.

Esta buena capacidad de aislamiento térmico se debe a la propia estructura del material que esencialmente consiste en aire ocluido dentro de una estructura celular conformada por el poliestireno. Aproximadamente un 98% del volumen del material es aire y únicamente un 2% materia sólida (poliestireno), siendo el aire en reposo es un excelente aislante térmico.

La capacidad de aislamiento térmico de un material está definida por su coeficiente de conductividad térmica que en el caso de los productos de EPS varía, al igual que las propiedades mecánicas, con la densidad aparente.

1.2.5.3.5 Comportamiento frente al agua y vapor de agua.

El poliestireno expandido no es higroscópico, a diferencia de lo que sucede con otros materiales del sector del aislamiento y embalaje. Incluso sumergiendo el material completamente en agua los niveles de absorción son mínimos con

valores oscilando entre el 1% y el 3% en volumen (ensayo por inmersión después de 28 días).

Al contrario de lo que sucede con el agua en estado líquido el vapor de agua sí puede difundirse en el interior de la estructura celular del EPS cuando entre ambos lados del material se establece un gradiente de presiones y temperaturas.

1.2.5.3.6 Estabilidad dimensional.

Los productos de EPS, como todos los materiales, están sometidos a variaciones dimensionales debidas a la influencia térmica. Estas variaciones se evalúan a través del coeficiente de dilatación térmica que, para los productos de EPS, es independiente de la densidad y se sitúa en los valores que oscilan en el intervalo 5-7 x 10^{-5} K^{-1}, es decir entre 0,05 y 0,07 mm por metro de longitud y grado Kelvin.

A modo de ejemplo una plancha de aislamiento térmico de poliestireno expandido de 2 metros de longitud y sometida a un salto térmico de 20 º C experimentará una variación en su longitud de 2 a 2,8 mm.

1.2.5.3.7 Estabilidad frente a la temperatura.

Además de los fenómenos de cambios dimensionales por efecto de la variación de temperatura descritos anteriormente el poliestireno expandido puede sufrir variaciones o alteraciones por efecto de la acción térmica.

El rango de temperaturas en el que este material puede utilizarse con total seguridad sin que sus propiedades se vean afectadas no tiene limitación alguna por el extremo inferior (excepto las variaciones dimensionales por contracción). Con respecto al extremo superior el límite de temperaturas de uso se sitúa alrededor de los 100ºC para acciones de corta duración, y alrededor de los 80ºC para acciones continuadas y con el material sometido a una carga de 20 kPa.

1.2.5.3.8 Comportamiento frente a factores atmosféricos.

La radiación ultravioleta es prácticamente es el único factor que reviste importancia. Bajo la acción prolongada de la luz UV, la superficie del EPS se torna

amarillenta y se vuelve frágil, de manera que la lluvia y el viento logran erosionarla. Dichos efectos pueden evitarse con medidas sencillas, en las aplicaciones de construcción con pinturas, revestimientos y recubrimientos.

1.2.5.4 Propiedades biológicas

El poliestireno expandido no constituye substrato nutritivo alguno para los microorganismos. Es imputrescible, no enmohece y no se descompone. No obstante, en presencia de mucha suciedad el EPS puede hacer de portador de microorganismos, sin participar en el proceso biológico. Tampoco se ve atacado por las bacterias del suelo. Los productos de EPS cumplen con las exigencias sanitarias, con lo que pueden utilizarse con seguridad en la fabricación de artículos de embalaje de alimentos.

El EPS no tiene ninguna influencia medioambiental perjudicial, no es peligroso para las aguas. Se pueden adjuntar a los residuos domésticos o bien ser incinerados.

1.2.5.5 Comportamiento frente al fuego

Las materias primas del poliestireno expandido son polímeros de estireno que contienen una mezcla de hidrocarburos de bajo punto de ebullición como agente de expansión. Todos ellos son materiales combustibles.

El agente de expansión se volatiliza progresivamente en el proceso de transformación. El 10 % residual requiere de una fase de almacenamiento durante un tiempo función de las especificaciones del producto: dimensiones, densidad, etc. En caso de manipulación de productos sin esta fase de almacenamiento se tomarán medidas de prevención contra incendios.

Al ser expuestos a temperaturas superiores a 100 ºC , los productos de EPS empiezan a reblandecerse lentamente y se contraen, si aumenta la temperatura se funden. Si continua expuesto al calor durante un cierto tiempo el material fundido emite productos de descomposición gaseosos inflamables.

En ausencia de un foco de ignición los productos de descomposición térmica no se inflaman hasta alcanzar temperaturas del orden de los 400 - 500 ºC .

1.2.5.7 Producción del poliestireno expandido

El proceso productivo para la obtención de Poliestireno Expandido utiliza como materia prima el Poliestireno Expandible, el cual se obtiene de la polimerización del estireno en presencia de un agente expansor (pentano).

1.2.5.7.1 Polimerización del Estireno

En una primera instancia el estireno es dispersado en forma de gotas en fase de agua en tamaños de 0,1 a 1mm. Las proporciones agua/estireno varían de 1:1 a 1:3. El tipo de polimerización utilizado es el de Suspensión y se lleva a cabo en reactores vidriados o de acero inoxidable con capacidades entre 9000 y 136000 litros. Estos reactores operan en forma discontinua, la temperatura es controlada mediante una camisa y frecuentemente mediante una serpentina interna de refrigeración.

Cuando las concentraciones del polímero se encuentran entre el 30% y el 70% se produce una aglomeración prematura de porciones del polímero semi-sólido, denso y pegajoso. En este momento es donde se alcanza el estado crítico de la polimerización, la agitación es más forzada y se deben agregar agentes de suspensión, dado que más aglomeración puede provocar la rotura del motor y si la agitación es insuficiente se produce material pobre. Por lo contrario si la agitación es demasiada puede quedar gas atrapado en el material. Una falla momentánea en la agitación produciría la aglomeración inevitable del material.

Cerca del final de la polimerización la mezcla polímero-agua es enfriada a 85 o C para que la aglomeración de las partículas de polímero sea mínima al ser transferida al tanque de almacenaje.

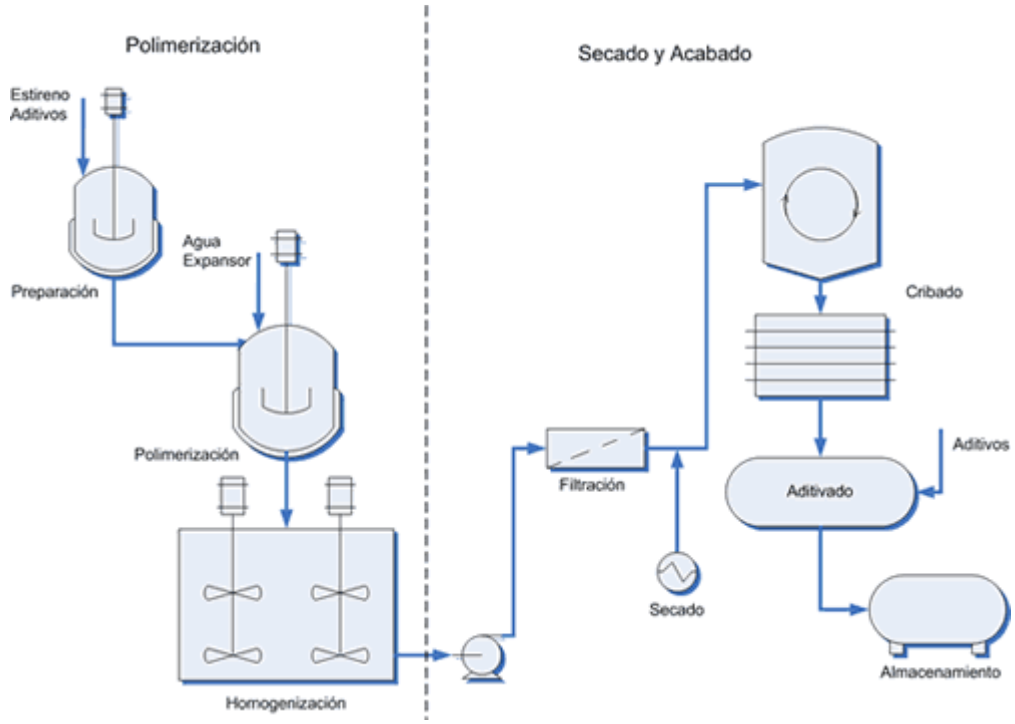


Figura 1.11 Obtención del EPS[7]

1.2.5.7.2 Obtención del Poliestireno Expandido

El Poliestireno Expandible es transformado en artículos acabados de Poliestireno Expandido mediante un proceso que consta de tres etapas: una etapa de expansión, seguida de una etapa de estabilizado, finalizando con una última expansión y el moldeo.

1ª etapa: pre expansión

El Poliestereno Expandible, en forma de granos, se calienta en preexpansores con vapor de agua a temperaturas situadas entre 80 y 110ºC aproximadamente, haciendo que el volumen aumente hasta 50 veces el volumen original. Durante esta etapa los granos son agitados continuamente.

En esta etapa es donde la densidad final del EPS es determinada. En función de la temperatura y del tiempo de exposición la densidad aparente del material disminuye de unos 630 kg/m 3 a densidades que oscilan entre los 10 - 30 kg/m^3

[7] (http://www.textoscientificos.com/imagenes/polimeros)

Luego de la pre expansión, los granos expandidos son enfriados y secados antes de que sean transportados a los silos.

2ª etapa: reposo intermedio y estabilización.

Durante la segunda etapa del proceso, los granos preexpandidos, conteniendo 90% de aire, son estabilizados durante 24 horas.

Al enfriarse las partículas recién expandidas, en la primera etapa, se crea un vacío interior que es preciso compensar con la penetración de aire por difusión. De este modo las perlas alcanzan una mayor estabilidad mecánica y mejoran su capacidad de expansión, lo que resulta ventajoso para la siguiente etapa de transformación. Este proceso se desarrolla durante el reposo intermedio del material preexpandido en silos ventilados. Al mismo tiempo se secan las perlas.

3ª etapa: expansión y moldeo final.

En esta etapa las perlas preexpandidas y estabilizadas se transportan a unos moldes donde nuevamente se les comunica vapor de agua y las perlas se sueldan entre sí.

En esta operación, las perlas preexpandidas se cargan en un molde agujereado en el fondo, la parte superior y los laterales, con el fin de que pueda circular el vapor. Las perlas se ablandan, el Pentano se volatiliza y el vapor entra de nuevo en las cavidades. En consecuencia, las perlas se expanden y, como están comprimidas en el interior del volumen fijo del molde, se empaquetan formando un bloque sólido, cuya densidad viene determinada en gran parte por el alcance de la expansión en la etapa inicial de preexpansión. Durante la operación se aplican ciclos de calentamiento y enfriamiento, cuidadosamente seleccionados para el mejor equilibrio económico de la operación y para conseguir una densidad homogénea a través del bloque así como una buena consolidación de los gránulos, buena apariencia externa del bloque y ausencia de combaduras.

Como muestra la figura 1.11, en la tercera etapa existen distintas alternativas, basadas en la forma que adquiere el producto final. Por un lado se lo puede moldear en forma de grandes bloques que luego pueden ser cortados en forma de

planchas. El corte se puede llevar a cabo por medio de alambres calientes. Por otro lado se lo puede moldear con la forma del envase final, es decir, con forma de recipiente de distintas características. Existen algunas empresas que cortan el EPS mediante sistemas computarizados, basándose en diseños hechos en AutoCad.

1.2.5.8 Usos y aplicaciones del poliestireno expandido

Las propiedades y características técnicas del poliestireno expandido permiten que sea destinado a una gran cantidad de aplicaciones. Entre ellas las más comunes son las relacionadas con el aislamiento térmico y la resistencia mecánica, aunque no sería útil para envasar alimentos, sino fuera higiénico e inerte.

1.2.5.8.1 Empaque y embalaje

El poliestireno expandido es un material que por su bajo peso y gran resistencia, es ideal para la fabricación de empaques y embalajes para los diversos productos de la industria electrónica, farmacéutica, manufacturera, química, artesanal, etc.

Los empaques de poliestireno expandido son diseñados para amoldarse perfectamente a la forma del producto, combinando diversas opciones de espesores de pared, densidad y número de refuerzos

Por otra parte, la ligereza del poliestireno expandido reduce los costos de transporte, mano de obra y gracias a su resistencia elimina las roturas, facilitando el estibado, al poder soportar más de 1000 veces su propio peso.

El poder de amortiguamiento del poliestireno expandido le permite absorber la energía producida por golpes y vibraciones, evitando que el producto empacado se dañe.

Los productos que requieren control de temperatura, por ejemplo pescado, pueden ser envasados en poliestireno expandido ya que sus múltiples celdillas actúan como cámaras de aire independientes aislándolo térmicamente.

La posibilidad del EPS de emplearse para la protección, transporte y comercialización de alimentos se debe a que es un material fisiológicamente inocuo, que no favorece el crecimiento de hongos y bacterias que provocan la descomposición orgánica siendo además de olor y sabor neutros.

Además el EPS puede incorporar aditivos para evitar la excesiva carga electrostática favoreciendo su uso en la industria electrónica.

1.2.5.8.2 Construcción

Las aplicaciones que encuentra el EPS en la construcción están relacionadas con características como aislamiento térmico y acústico. Ya sea por ahorro de energía o por confort, el EPS posee características que cumplen muy bien esas funciones.

Actualmente en los países de clima templado y tropical existe la tendencia a construir bajo medidas eficientes de aislamiento térmico, ya que el gasto energético para el acondicionamiento de edificios en las temporadas cálidas puede ser equivalente o aún mayor que el gasto energético para la calefacción en invierno.

1.2.5.9 Reciclado del poliestireno expandido

1.2.5.9.1 Poliestireno expandido y el medio ambiente

La producción de Poliestireno Expandido utiliza productos derivados del petróleo. De todos modos, el consumo de este recurso natural es realmente muy limitado: sólo el 4% del petróleo que se utiliza a nivel mundial se destina a la producción de materiales plásticos, y dentro del conjunto de materiales plásticos, el EPS representa un 2,5% del total. Se deduce de esto que solo el 1 por 1000 del petróleo se destina a la fabricación de EPS.

Otra ventaja que posee el EPS frente al medio ambiente es que para su producción o uso no se utilizan, ni se han utilizado jamás, clorofluorocarburos, de modo que no se ataca la atmósfera. El agente expansor utilizado en su fabricación, pentano, pertenece a la familia del metano, un gas natural derivado de fuentes naturales, que se descompone rápidamente en la atmósfera.

1.2.5.9.2Reciclabilidad

Todo lo mencionado anteriormente no hace referencia a la reciclabilidad del poliestireno, a diferencia de materiales como el PET, que son más amigables con el medio ambiente, el poliestireno expandido es unos de los materiales menos amigables (Figura 1.12). Esto se debe a que la polimerización del estireno no es reversible.

Figura 1.12 Símbolo de clasificación para el reciclado del Poliestireno[8]

Esto no quiere decir que el poliestireno expandido no pueda ser utilizado nuevamente, de hecho una de las posibilidades que existen es volver a utilizarlo en la producción de poliestireno expandido. Existen además otras posibilidades como por ejemplo en la construcción como componente del hormigón liviano, rellenos de terrenos, etc.

A continuación se detallan algunas de las distintas formas de reciclado del poliestireno expandido:

- Reusar el embalaje a nivel doméstico (mudanzas, almacenaje, jardinería, decoración).
- Moler piezas de poliestireno expandido recolectadas. Emplear la molienda en la fabricación de hormigón liviano o en el aflojamiento de suelos, jardines, estadios.
- Volver al Poliestireno (PS): Con poliestireno expandido desgasificado se pueden fabricar piezas por inyección (macetas, carretes de películas, artículos de escritorio, etc.). Se rescata así la energía "intrínseca" del plástico. Esta energía (que es la acumulada durante todo el proceso

[8] (http://www.textoscientificos.com/imagenes/polimeros)

industrial a partir del petróleo en el material) siempre es mayor a la obtenida por combustión.

- Obtención de energía calórica para procesos a escala industrial. 1 kg de espuma del tipo fácilmente inflamable (generalmente embalajes) equivale en su valor energético a aproximadamente 1,2 l de fuel oil. En un proceso de combustión completa, el poliestireno expandido es eliminado libre de cenizas, con formación de: energía, agua y dióxido de carbono.
- Reciclaje interno de productos de descarte en la fábrica de espuma. La fabricación de poliestireno expandido en bloques, placas o piezas con destinos específicos y predeterminados, admite un contenido respetable de material regenerado sin alterar el aspecto ni las cualidades técnicas del producto final.

CAPITULO II

SOFTWARE FOAMWORKS 3.0

2.1 INTRODUCCION

Foamworks 3.0 CNC es un software específicamente diseñado para controlar una maquina cortadora de espuma a través de un alambre caliente de 4 ejes (2 horizontales y 2 verticales) que se comunica a través de un puerto paralelo compatible para Windows 98, ME, XP o 2K. Utiliza archivos DAT que determinaran la secuencia del perfil a cortar. Cuanta con controles individuales y combinados para el movimiento de los carros de corte así como también un control para el alambre caliente de corte.

2.2 HOME CONTROL[9]

2.2.1 HOME POSITION

Foamworks 3.0 permite configurar la posición de inicio (Figura 2.1). La posición de inicio es configurada por la fijación del alambre de corte en la posición deseada y luego pulsando en “Set Home Position” del menú principal.

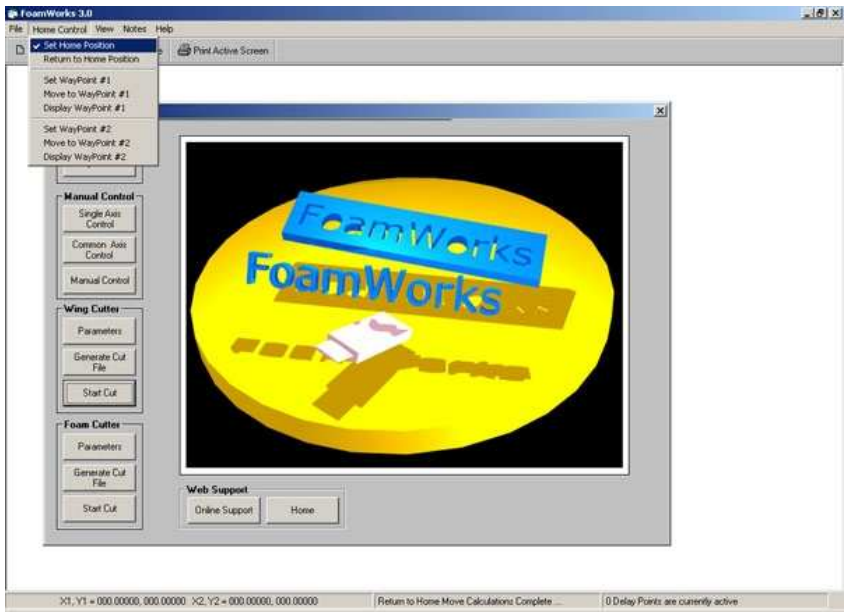


Figura 2.1 Configuración del “Home Position”

[9] Software Foam Works 3.0

Se podrá observar el cambio en la barra de estado “Status Bar”, y será mostrado por las posiciones X_1,Y_1 y X_2,Y_2, las mismas que pueden ser verificadas en “Set Home Position”. Desde este punto, todos los movimientos serán actualizados en la barra de estado.

Para regresar a la posición inicial, pulse “Home Control” y seleccione “Return to Home Position” (Figura 2.2). La maquina se moverá en línea recta desde la posición actual hacia la posición inicial (Home Position).

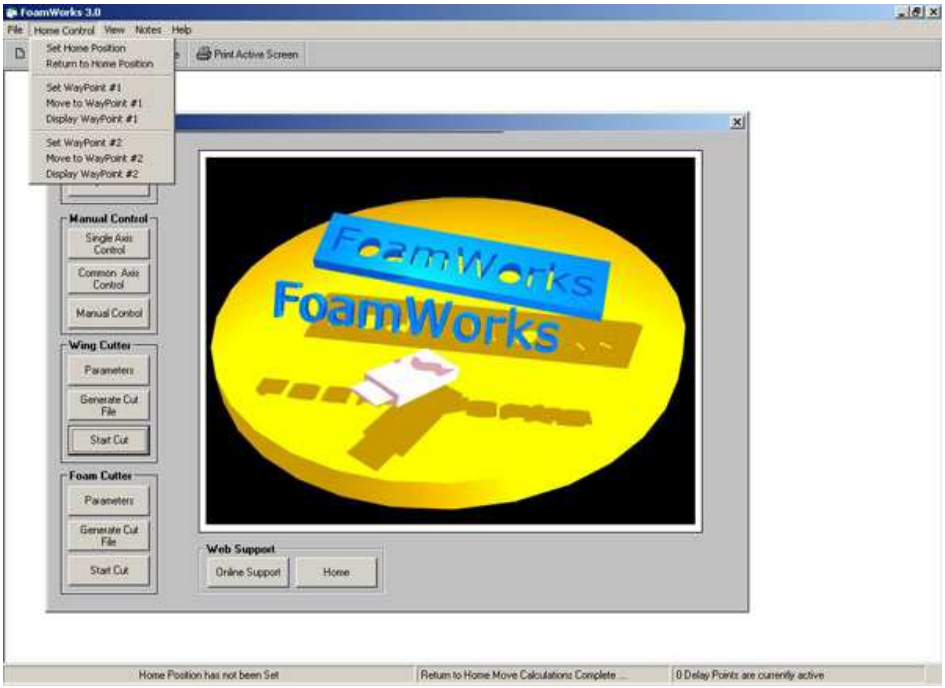


Figura 2.2. Regreso a posición inicial

En computadoras lentas la actualización de la posición actual puede causar problemas en la conservación de la velocidad deseada. Si esto ocurre, pulse “View” y desactive la barra de estado (Status Bar). La posición inicial estará aun activa, pero en las posteriores actualizaciones se desactivara.

Para desactivar la posición inicial (Home Position) pulse “Home Control” desde el menú principal y seleccione “Set Home Position”, se podrá observar el cambio en la barra de estado de tal manera que las posiciones X_1,Y_1 y X_2,Y_2 no serán mostradas y “Set Home Position” no será verificable.

2.2.2 WAY POINT 1 / WAY POINT 2

Foamworks también soporta la configuración de dos puntos de ruta (Waypoints). Estos puntos son diferentes al punto de inicio y que tambien pueden ser guardados. El cortador puede ser movido desde cualquiera de estos puntos en cualquier instante siempre que la que la posicion inicial este activa (figura 2.3).

El alambre cortador se moverá desde la posición actual en linea recta hacia el punto de ruta deseado. Esta funcion es similar a la operación retornar al inicio (Return Home).

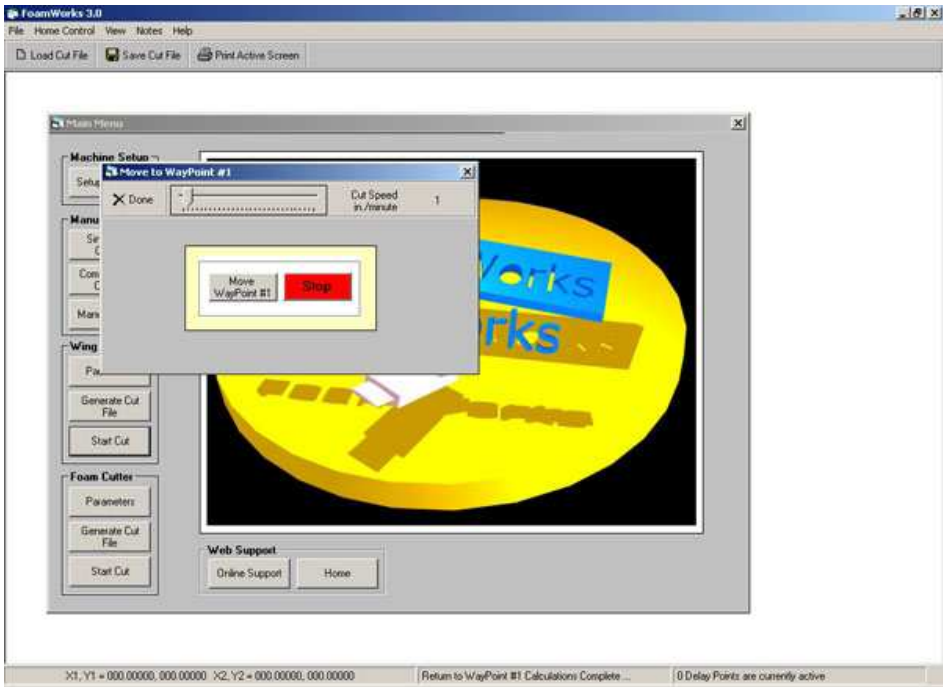


Figura 2.3. Way point 1 / way point 2

Se podrá seleccionar un punto de ruta pulsando “Home Control” y lego pulsando “Set Way Point”. Desde el menú que se despliega pulsando “Select” se configurará la posición actual del cortador como el punto de ruta (waypoint) deseado o se puede ingresar propios valores en la caja de entrada de datos (figura 2.4).

Pulsamos “Done” y estos valores son guardados.

Pulsando “Display WayPoint” se mostraran los valores actualmente guardados. La función “Home Position” debe estar activa para que “WayPoint” funcione

correctamente.

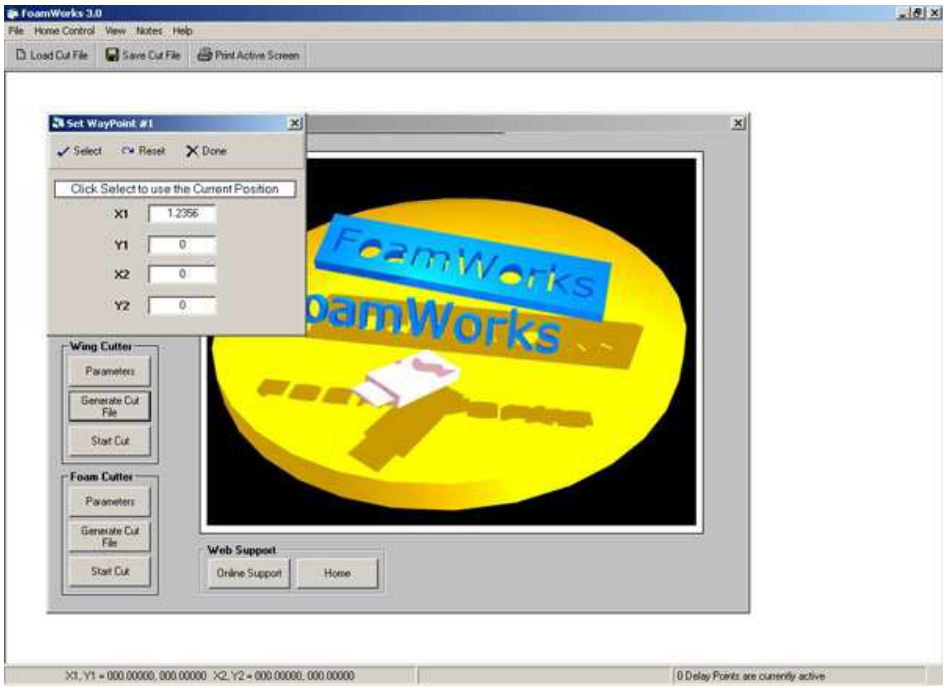


Figura 2.4. Configuracion de Way point

2.3 INICIO RAPIDO[10]

2.3.1 PARA COMENZAR

Siga los siguientes pasos para empezar a usar Foamworks 3.0

1. Seleccione la configuración de la máquina
    - Seleccione la dirección del puerto paralelo.
    - Configure el valor por pulgada de los pasos (steps per inch)
    - Configure todos los pines del puerto paralelo para que se enlacen con el computador.
    - Regrese al menú principal.
2. Seleccione entre el cortador de ala (Wing Cutter) o el cortador de espuma (Foam Cutter)

[10] Software Foam Works 3.0

- Si selecciona el cortador de ala:
    - Seleccione el tipo de ala, afinamiento o la constante de alargamiento
    - Complete toda la información requerida en los cuadros de texto.
    - Regrese al menú principal.
- Si selecciona el cortador de espuma
    - Complete la información requerida en todos los cuadros de texto.
    - Regrese al menú principal.

3. Pulse el botón correspondiente a generar archivo (generate file)
    - Seleccione el archivo DAT para las torres izquierda y derecha.
    - Ingrese el tamaño horizontal de la pieza a cortar
    - Regrese al menú principal
4. Pulse el botón correspondiente a comenzar corte (Start Cut)
    - La figura aparecerá en la izquierda y derecha d la ventana de corte.
    - Posicione manualmente el alambre de corte y la pieza de espuma.
    - Cuando esté listo presione comenzar corte (Begin Cut)

2.3.2 ARCHIVOS DAT (DAT FILES)

Un archivo DAT (DAT file) es simplemente una lista de puntos (coordenadas x,y) a lo largo de una figura que describen la misma. La coma entre las coordenadas no debe usarse.

El rango de coordenadas entre 0 y 1 para el eje X. El eje Y esta dado por las

mediciones de las distancias a lo largo del eje Y hacia un punto dado tomando como referencia la distancia al eje X como una función de porcentaje. Por ejemplo si la distancia a un punto a lo largo del eje Y es 10% del total de la distancia del eje X, luego el valor de Y para dicho punto será 1.

Este es un ejemplo de un archivo DAT que describe un diamante (Figura 2.5).

X	Y
1.0	0.0
0.5	0.5
0.0	0.0
0.5	-0.5
1.0	0.0

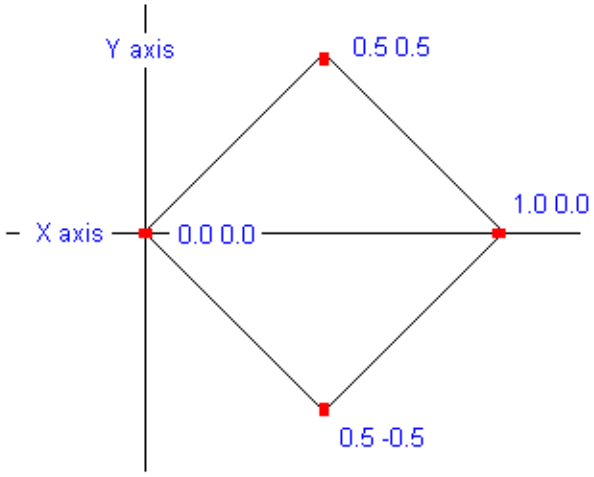


Figura 2.5. Generación de archivo DAT

Otra importante función de del archivo DAT es que provee la secuencia de corte de la máquina. El archivo DAT que se muestra anteriormente empezara el corte en 1 0 y procesara hacia .5 .5 después hacia 0 0, después .5 -.5 y finalmente 1 0.

Esta es la convención que Foamworks sigue. Los archivos DAT comenzaría en 1 0 y empezaría el movimiento de corte hacia 0 0 en la dirección X hacia adelante.

2.3.3 ORIENTACION DE LA MAQUINA Y SECUENCIA DE CORTE

2.3.3.1 Orientación

Para entender como Foamworks se orienta relativamente hacia el cortador, siga las siguientes instrucciones.

Sitúese entre las torres de corte con los motores por pasos cerca de usted.

- X1 y Y1 están a su izquierda
- X2 y Y2 están a su derecha

- X hacia adelante (X Forward) alejara el carro respecto de su posición
- X hacia atrás (X Back) moverá el carro hacia su posición.
- Y hacia arriba (Y Up) moverá el carro en el eje Y hacia arriba
- Y hacia abajo (Y Down) moverá el carro en el eje Y hacia abajo

2.3.3.2 Secuencia

Foamworks trabaja mejor cuando el cortador está configurado para empezar el movimiento de corte en X hacia adelante (X Forward). Los archivos DAT serán diseñados para empezar en 1 0 y procederá hacia 0 0 y luego regresara hacia 1 0, se deberá procurar terminar el corte en la posición inicial del movimiento de corte.

Cuando el corte empiece, lo hará de derecha a izquierda y en la ventana de corte se mostrara el avance sobre la figura previamente ingresada por medio del archivo DAT. Si el corte está diseñado para que la posición inicial coincida con la posición final, la dirección de regresos será de izquierda a derecha.

2.4 BLOQUE DE NOTAS (NOTE PAD)[11]

Un bloque de notas ha sido añadido a Foamworks para facilitarle el guardado de datos importantes en un archivo de texto. Esta información puede ser revidada o editada en el futuro en cualquier instante que se desee.

Para abrir el bloque de notas. Pulse “Notes” a partir del menú principal (Main Menu) después seleccione “Open Note Pad” (Figura 2.6).

Los archivos del bloque de notas son guardados con la extensión .fwn. Estos son solo archivos de texto y pueden ser abiertos con cualquier editor de texto. La extensión especial fue usada para distinguir los archivos del bloque de notas de Foamworks de otros.

[11] Software Foam Works 3.0

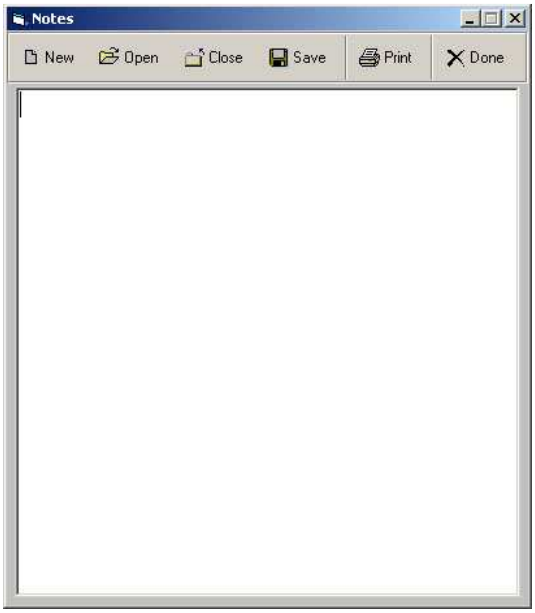


Figura 2.6. Note PAd

2.5 CONFIGURACION DE LA MAQUINA[12]

2.5.1 LEAD-IN CUT OPTIONS

Lead – in cut options, especifica si usted desea tener el inicio o el final del cortador con un corte horizontal o vertical que es independiente del corte que se ha definido a través del archivo DAT (Figura 2.7).

Por ejemplo si usted especifica 1 pulgada en sentido horizontal en lead-in cut. El cortador se desplazara en primer lugar 1 pulgada en el sentido horizontal para empezar el corte especificado por el archivo DAT. Al final del corte de la figura del archivo DAT, el cortador se desplazaría 1 pulgada en sentido horizontal la dirección opuesta, regresando al punto de inicio. Si “Use Lead-in Cut” no está seleccionado, el cortador solo cortará la figura descrita por el archivo DAT.

Si se selecciona “Reverse lead-Out Cut”. El cortador regresara hacia su posición inicial (desplazándose en la dirección opuesta al “Lead-in Cut” cuando el cortador ha terminado con la figura descrita por el archivo DAT. El “Lead-Out Cut” deberá ser la misma distancia del “Lead-in Cut”.

[12] Idem

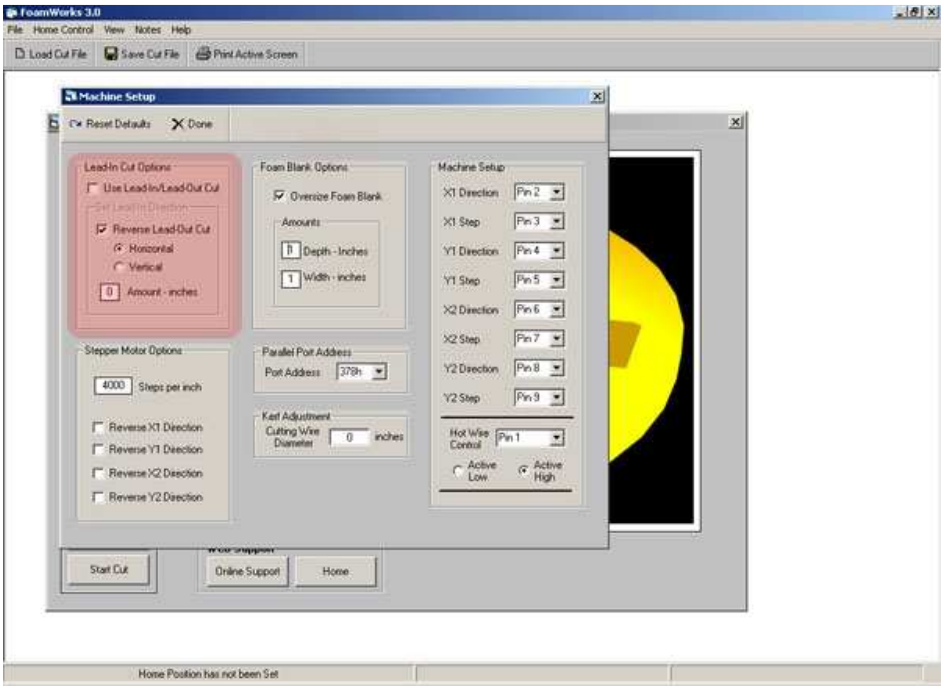


Figura 2.7. Lead in cut

Si el “Lead-Out Cut” no está seleccionado, el cortador se desplazará en la misma dirección que el “Lead-in Cut” cuando se termine el corte de la figura descrita por el archivo DAT. El “Lead-Out Cut” será la misma distancia como el “Lead-in Cut”.

2.5.2 FOAM BLANK OPTIONS

Cuando se realice el cálculo del tamaño del bloque de espuma necesitado para crear un corte deseado, dentro de este debe ser considerada la necesidad de un “Lead-in Cut” o si el usuario simplemente desea tener un sobredimensión del vaciado de la espuma. Por ejemplo si usted estuviera cortando una figura cuya distancia horizontal es 10 pulgadas y desea dejar 1 pulgada en cada lado de la espuma a cortar, se deberá seleccionar la opción “Oversize Foam Blank” e ingresar el valor de 12 pulgadas en la caja de profundidad. (Depth box), (Figura 2.8)

La profundidad es la distancia a lo largo del eje X y el anchos es medido entre las torres de corte.

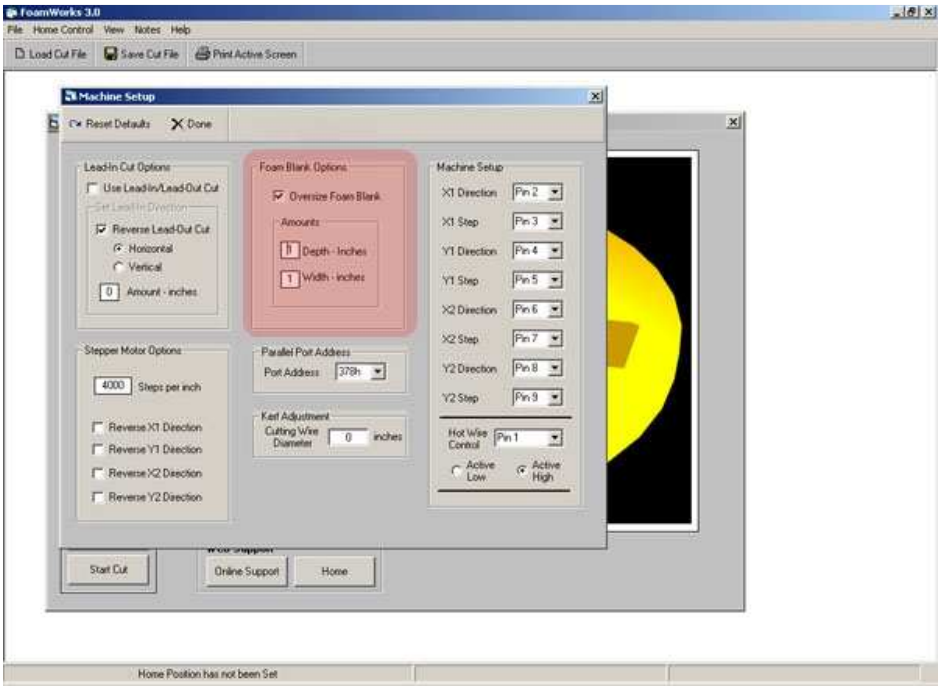


Figura 2.8. Foam Blank options

2.5.3 MACHINE SETUP UP - PARALLEL PORT PIN ASSIGNMENTS

Esta sección de la pantalla de configuración de la maquina permite específicamente observar los pines del puerto paralelo que han sido asignados a cada uno de los motores paso-paso y a los pulsos de dirección. Los pines no pueden ser asignados a señales múltiples. Si esto se lo realiza, se generará automáticamente un error. El paso y las direcciones de paso usan la porción de datos del puerto paralelo, D0 hasta D7 (Figura 2.9).

También se puede asignar un pin del puerto paralelo para la activación/desactivación del controlador de temperatura del alambre caliente, si uno es usado. El control del alambre caliente usa la porción del control del puerto paralelo, C0 hasta C3. Para el control del alambre caliente se deberá especificar en qué estado esta, la señal del alambre caliente esta en activo alto (+5 voltios) o en activo bajo (0 voltios).

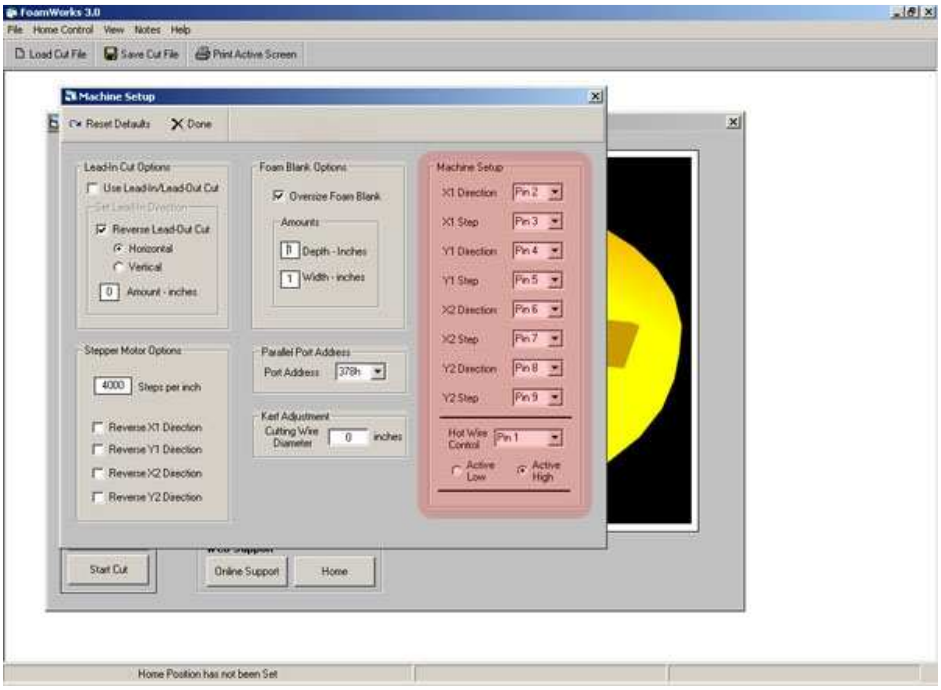


Figura 2.9. Configuración de la maquina

2.5.4 STEPPER MOTOR OPTIONS

Las opciones del motor paso-paso permiten especificar el tipo de tornillo y de motor paso-paso que se está usando. El valor será ingresado en pasos/pulgada. El valor es calculado por la multiplicación del número de pasos del motor que le toma en dar una revolución por el número de vueltas que el tornillo debe girar para desplazarse una pulgada.

Por ejemplo, ¼-20 para el tornillo y 200 pasos/revolución para el motor nos dará lo siguiente:

$$20 * 200 = 4000$$

Cuyo valor, como se menciono anteriormente, está en pasos/pulgada.

Este valor puede ser ajustado para compensar las pérdidas de paso o juegos existentes. La experiencia con la maquina especifica determinara si es necesario añadir alguna compensación.

La dirección de los motores paso-paso pude ser puesta en reversa, para lo cual corresponde seleccionar la opción apropiada en la pantalla de configuración de la

maquina (Mahine Setup screen) (Figura 2.10). Este cambio solo se podrá observar en los archivos de corte generados después que el cambio se ha realizado.

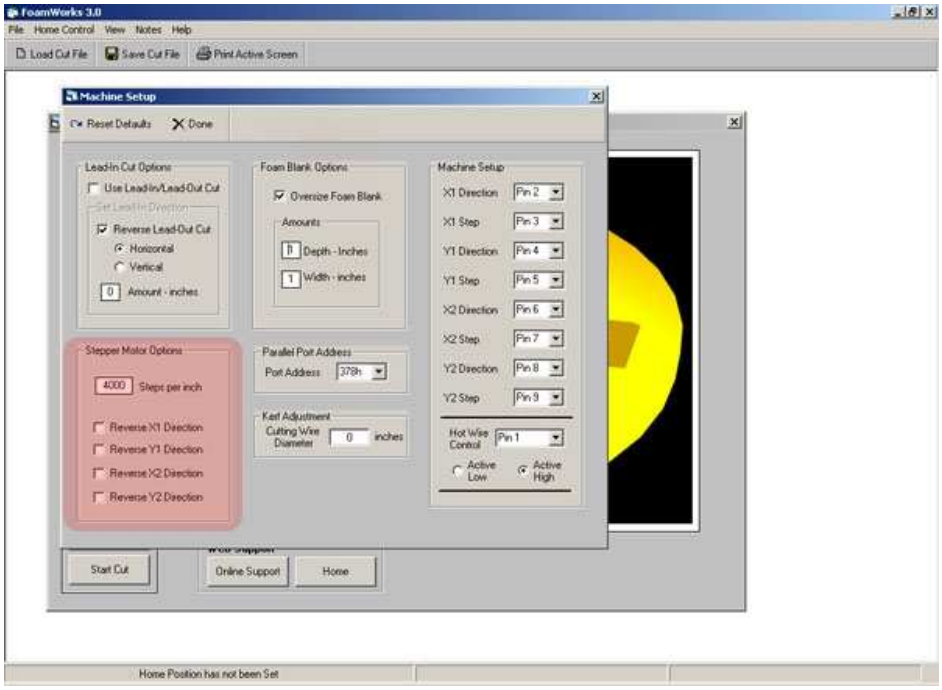


Figura 2.10. Configuración de los motores paso-paso

2.5.5 KERF ADJUSTMENT

Ajustes del corte permiten al usuario ingresar el diámetro del alambre de corte que se está usando. Esto permite a Foamworks tomar en cuenta el tamaño del alambre de corte dentro de las consideraciones cuando se genera el archivo de corte. Se debe ingresara el diámetro del alambre en pulgadas (Figura 2.11).

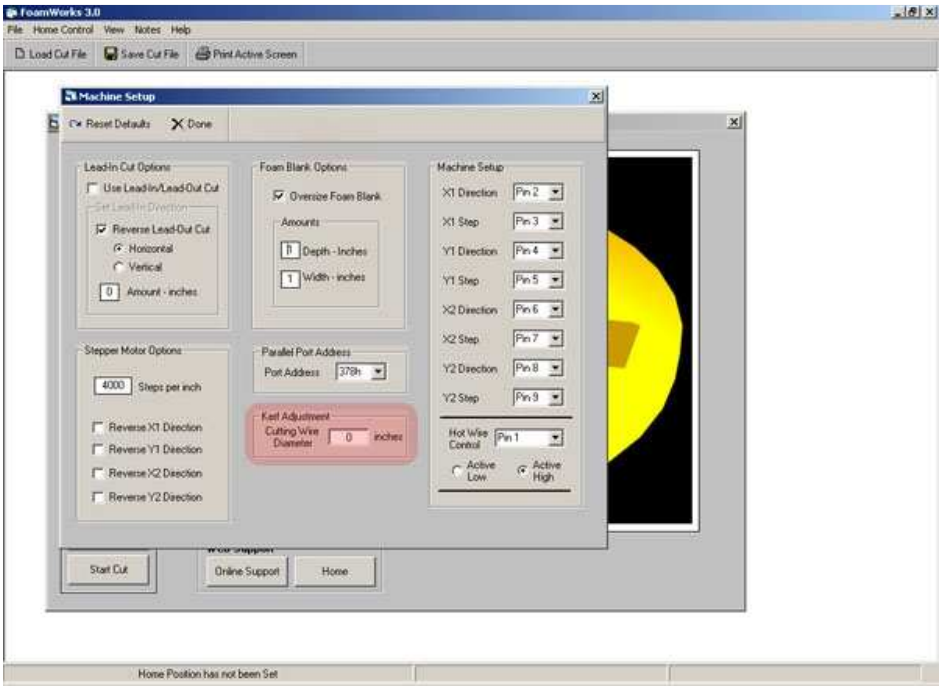


Figura 2.11. Ajustes de corte

2.5.6 PARALLEL PORT ADDRESS

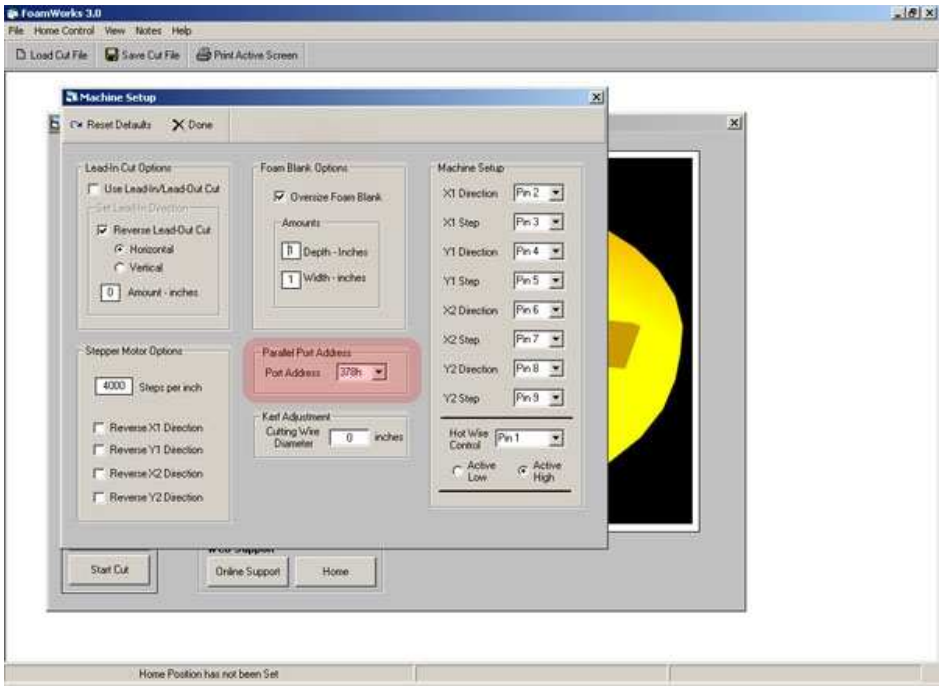


Figura 2.12. Selección del puerto paralelo

Esta opción de configuración permite al usuario especificar el puerto paralelo que va a ser usado para manejar el motor paso-paso y la tarjeta de manejo.

Las opciones que se presentan son: 378H, 278H y 3BCH (Figura 2.12).

2.5.7 RESET DEFAULTS

El botón “Reset” regresa todos los valoras a los valores por defecto.

2.5.8 SAVE SETTINGS

Cuando los cambios son hechos en la pantalla de configuración de la maquina, estas configuraciones son guardadas solo si se sale de la pantalla de configuración de la maquina pulsando el botón “Done”, (Figura 2.13)

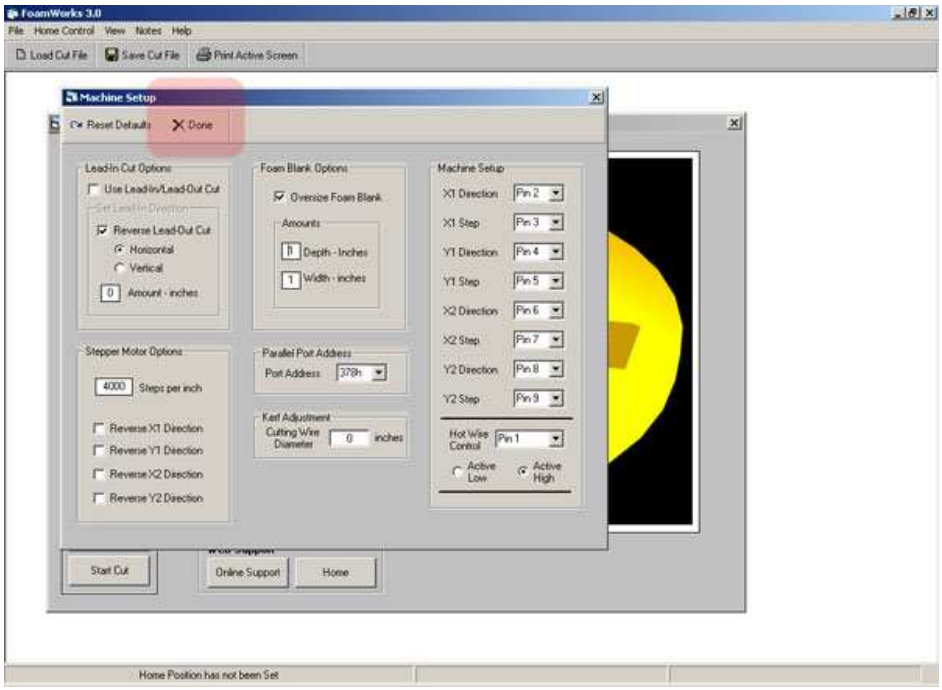


Figura 2.13. Guardado de cambios

2.6 OPERACIÓN MANUAL[13]

2.6.1 SINGLE AXIS CONTROL

El control unitario de ejes permite control individual de cada uno de los motores paso-paso.

Ingresar la distancia que se desee que el cortador se mueva en la caja adyacente

[13] Idem

al motor que se desee activar. Pulsar el botón que especifica la dirección que se desee que se mueva el cortador. El cortador empezara a moverse la distancia presente (Figura 2.14).

La velocidad puede ser configurada antes de empezar el movimiento o puede ser ajustada durante el movimiento. La velocidad es ajustada presionando en el deslizador del control de velocidad “Speed Control Slider” y arrastrándolo hasta la velocidad que se desee. La configuración de la velocidad correspondiente a la posición del deslizador es mostrada en la caja de velocidad de corte.

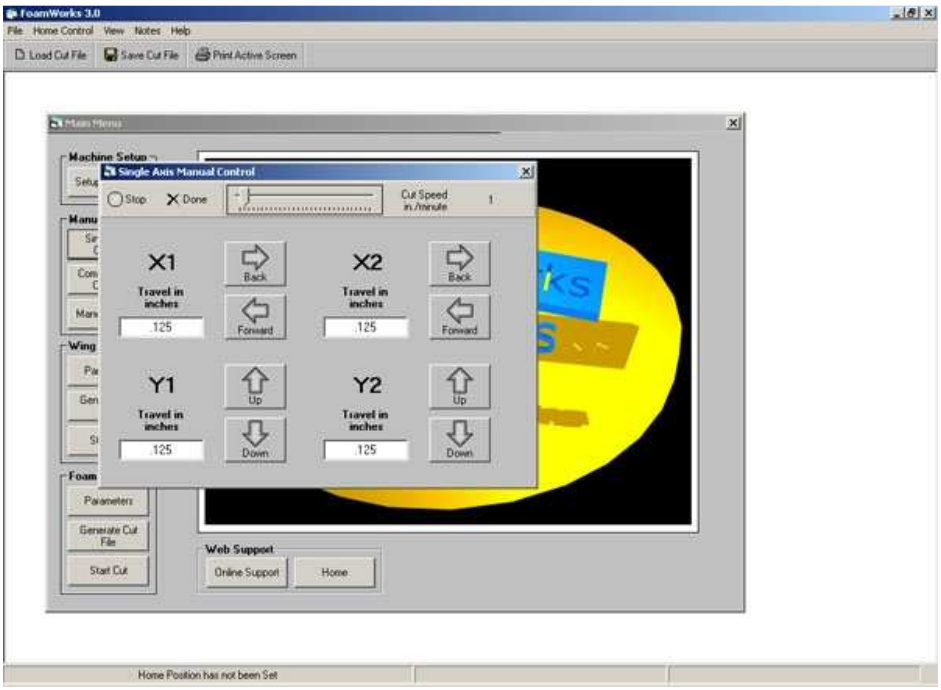


Figura 2.14. Control individual de los motores

2.6.2 COMMON AXIS CONTROL

El control común de ejes permite el control combinado del motor paso-paso X1 y del motor paso-paso X2 o el control combinado del motor paso-paso Y1 y del motor paso-paso Y2.

Ingrese la distancia que se desee que el cortador se mueva en la caja adyacente al par de motores que se deseen activar. Pulse el botón que especifica la dirección en la que se desea que se mueva el cortador. El cortador empezara a moverse la presente distancia (Figura 2.15)

La velocidad puede ser configurada antes de empezar el movimiento o puede ser ajustada durante el movimiento. La velocidad es ajustada presionando en el deslizador del control de velocidad “Speed Control Slider” y arrastrándolo hasta la velocidad que se desee. La configuración de la velocidad correspondiente a la posición del deslizador es mostrada en la caja de velocidad de corte.

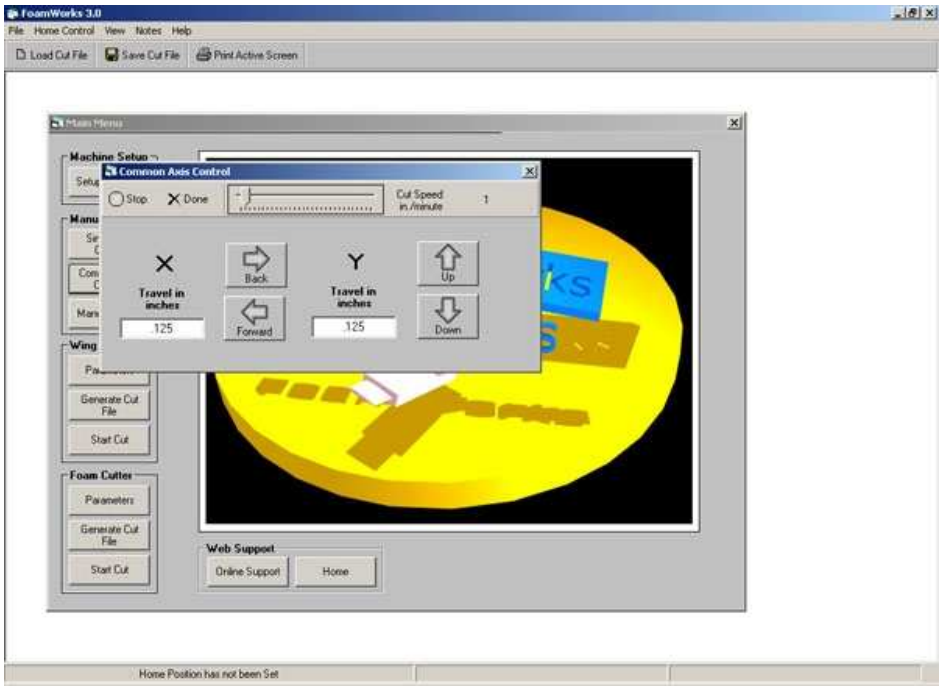


Figura 2.15. Control común de los motores

2.6.3 MANUAL CONTROL

El control manual permite el control combinado del motor paso-paso X1 y del motor paso-paso X2 o el control combinado del motor paso-paso Y1 y del motor paso-paso Y2.

Pulse el botón que especifica la dirección en la que se desea que se mueva el cortador. El cortador continuara el movimiento en la dirección especificada hasta que se pulse el botón “Stop”.

La velocidad puede ser configurada antes de empezar el movimiento o puede ser ajustada durante el movimiento. La velocidad es ajustada presionando en el deslizador del control de velocidad “Speed Control Slider” y arrastrándolo hasta la velocidad que se desee. La configuración de la velocidad correspondiente a la

posición del deslizador es mostrada en la caja de velocidad de corte.

El control manual puede ser realizado usando dos métodos, a través del mouse o por medio del teclado.

2.6.3.1 Control a través del mouse

Cuando se abre la caja del control manual, y el área alrededor del botón es blanca, el control a través del mouse esta activo. Así, se podrá controlar los movimientos del cortador pulsando el botón apropiado correspondiente a la acción que se quiere llevar a cabo.

Si se desea activar el control a través del teclado, basta con pulsar en el área de los botones y el área circundante tomará un tono amarillo, esto indica que el control a través del teclado esta activo (Figura 2.16). También se puede alternar el control entre el mouse y el teclado pulsando en el área alrededor de los botones.

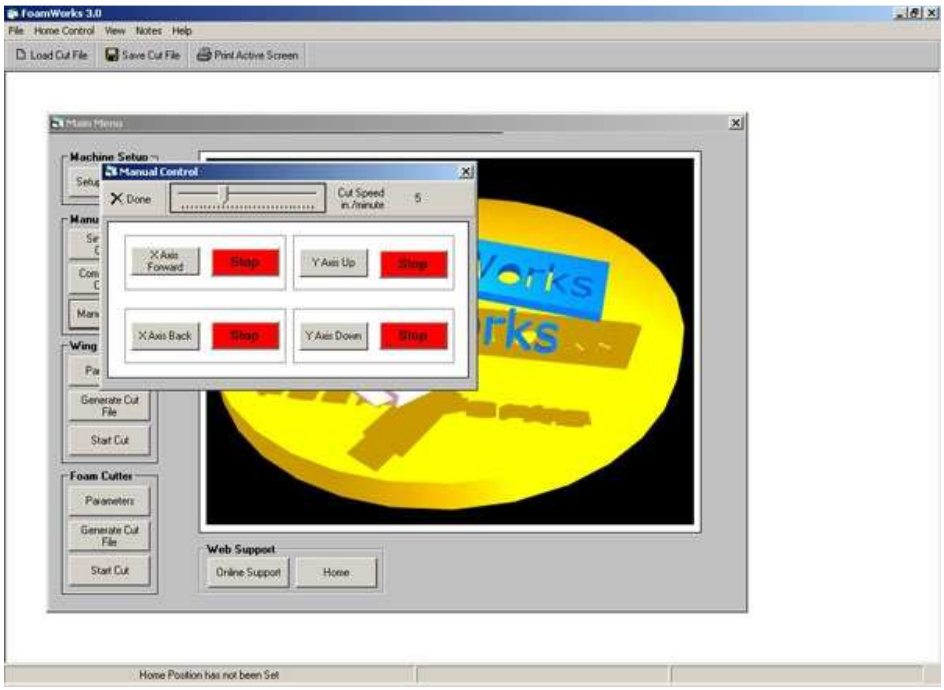


Figura 2.16. Control a través del mouse

2.6.3.2 Control a través del teclado

Cuando se abre la caja de control manual, y el área alrededor de los botones es amarilla, el control a través del teclado esta activo. Se puede controlar los

movimientos del cortador a través de las teclas de flecha del teclado (Figura 2.17).

Se puede trabajar con cualquiera de los dos grupos de teclas de dirección, es decir, con las flechas de manera normal o con las flechas del bloque numérico, tomando en cuente que éste se encuentre desactivado, en este caso la tecla “5” actúa como “stop”.

Si se desea activar nuevamente el control a través del mouse, solo basta con pulsar el área circundante y esta debe tornarse blanca. Esto indica que el control a través del mouse se encuentra activo.

También se puede alternar el control entre el mouse y el teclado pulsando en el área alrededor de los botones.

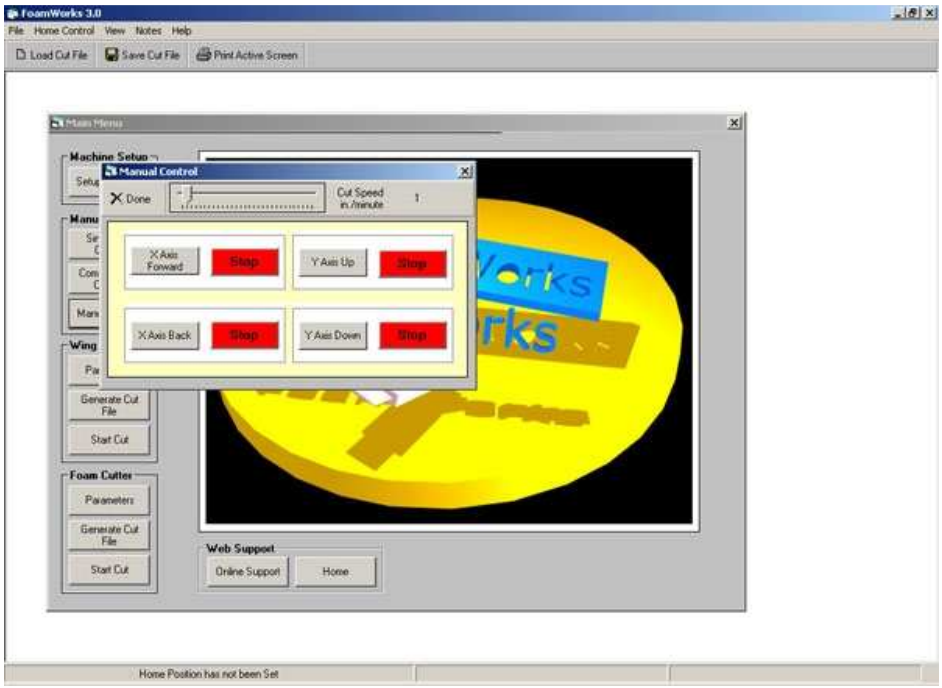


Figura 2.17. Control a través del teclado

2.7 FOAM CUTTING.[14]

2.7.1 PARÁMETROS

La pantalla de parámetros “Foam Cutting” permite la configuración de los parámetros del corte (Figura 2.18)

[14] Idem

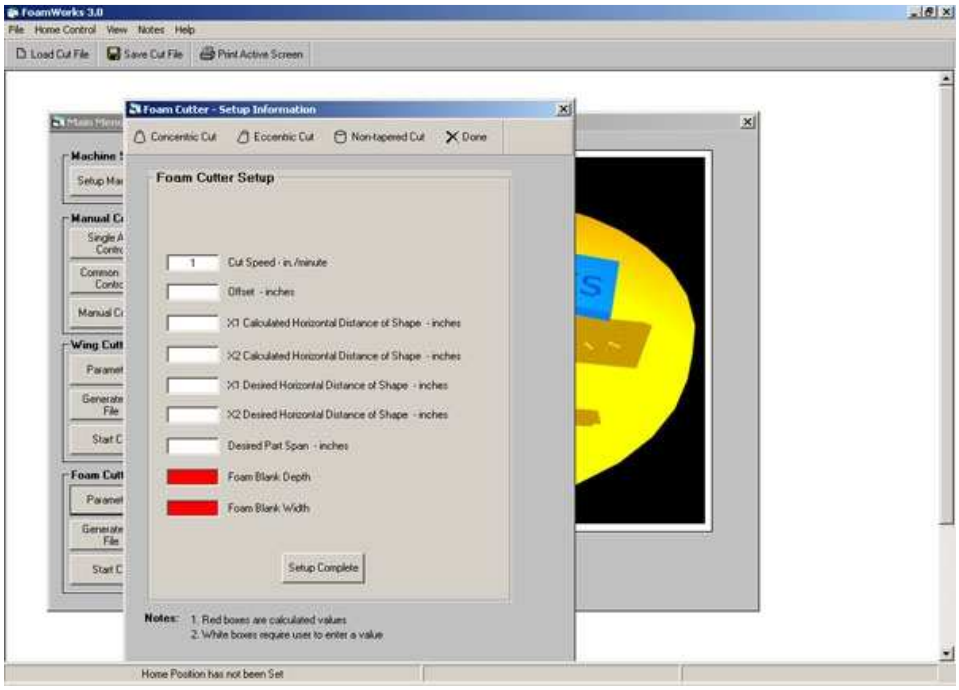


Figura 2.18. Parámetros del corte

2.7.1.1 Corte concéntrico

Un ejemplo de un corte concéntrico podría ser un cono. Para ingresar la información requerida, Foamworks calculara los movimientos requeridos para alcanzar las dimensiones previamente especificadas (Figura 2.19).

Toda la información deberá ser ingresada en las cajas blancas de texto. Las cajas rojas de textos se llenaran con valores calculados. Presionando el botón “Calculate” para que el proceso de cálculo empiece. Cuando los cálculos son completados, corresponde presionar el botón “Done” y dichos valores serán llevados de vuelta a la pantalla de parámetros

2.7.1.2 Eccentric Cuts

Un ejemplo de “eccentric cut” podría ser un cono, pero el punto del cono deberá estar desplazado la cantidad que se desee del diámetro con respecto a la base del diámetro. Toda la información deberá ser ingresada en las cajas blancas de texto. Las cajas rojas de textos se llenaran con valores calculados. Presionando el botón “Calculate” para que el proceso de cálculo empiece. Cuando los cálculos son completados, corresponde presionar el botón “Done” y dichos valores serán

llevados de vuelta a la pantalla de parámetros (Figura 2.20).

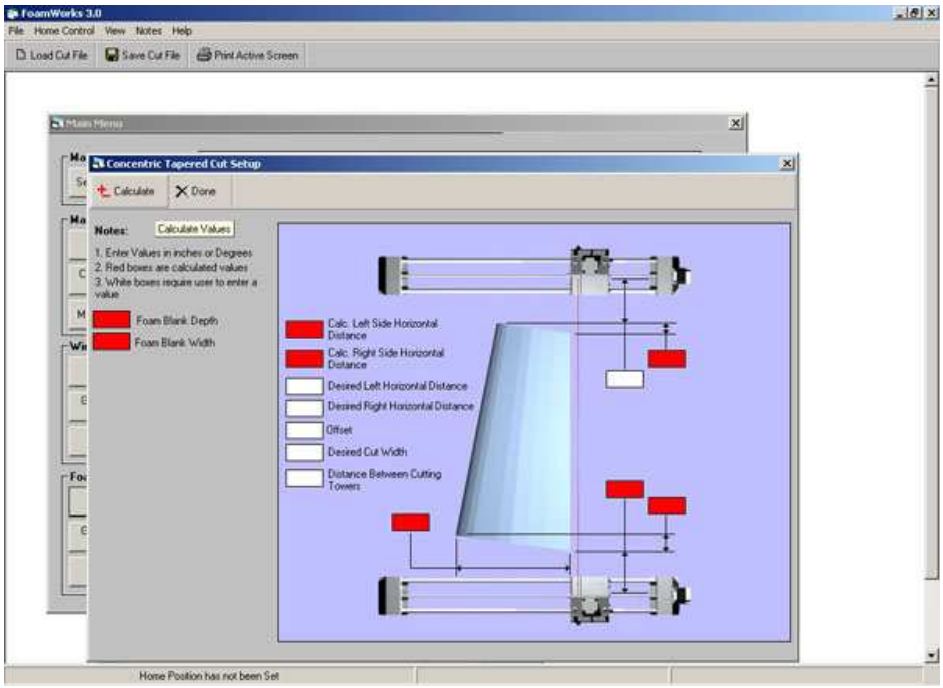


Figura 2.19. Corte concéntrico

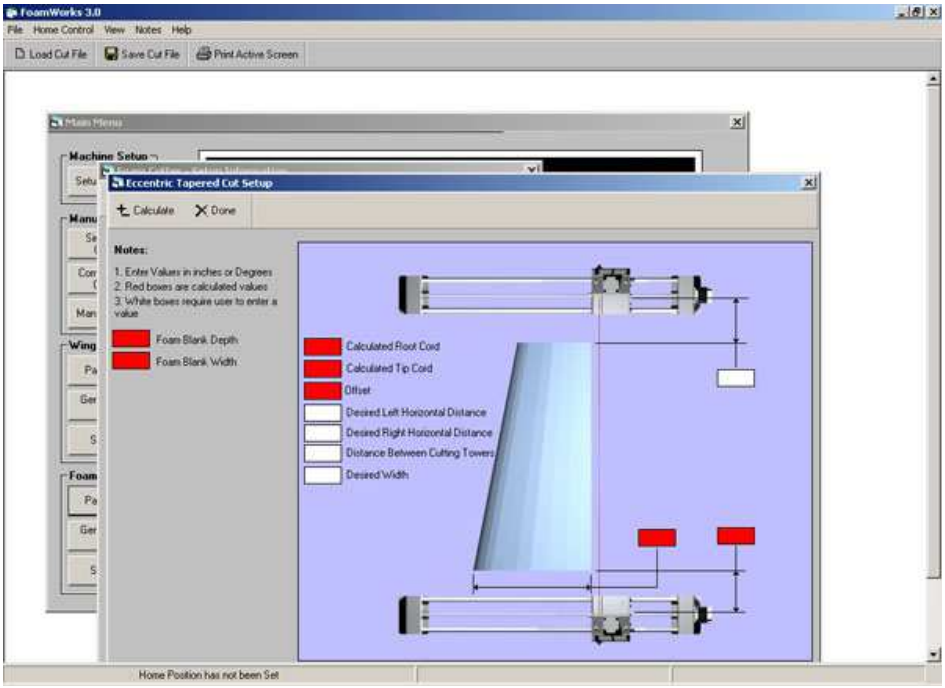


Figura 2.20. Corte excentrico

2.7.1.3 Non-tapared Cuts

Non-tapared cuts, son cortes realizados usando las mismas dimensiones en

ambas torres de corte (izquierda y derecha). Este tipo de corte solo requiere la distancia horizontal de corte. Se puede omitir el ingreso de datos en la pantalla de parámetros para este tipo de corte. Se puede pasar directamente a la generación del archivo de corte.

Cuando la configuración de los parámetros este completada, se debe pulsar “Setup Complete” y se deberá regresar al menú principal para empezar la generación del corte.

2.7.2 GENERATE CUT FILE

Cuando toda la información necesaria para la creación del archivo de corte este calculada, el usuario deberá generar un archivo de corte. Para esto se debe pulsar “Generate Cut File” en el menú principal (Figura 2.21).

Para generar el archivo de corte el usuario deberá ingresar la siguiente información:

- El archivo DAT para la torre de corte derecha
- El archivo DAT para la torre de corte izquierda
- El tamaño horizontal de la figura para la torre de corte derecha
- El tamaño horizontal de la figura para la torre de corte derecha

Cuando toda la información necesaria ha sido ingresada, se debe pulsar “Generate Cut File” y el proceso de generación empezara. El último archivo de corte se convierte en el actual archivo de corte hasta que se cargue un archivo diferente. La opción “Save Cut File” no necesita ser completada para crear el archivo de corte actual. El último archivo generado exitosamente se convertirá en el archivo actual de corte.

Cuando dicha operación este completa pulse “Done” regrese al menú principal y empiece el corte de la figura.

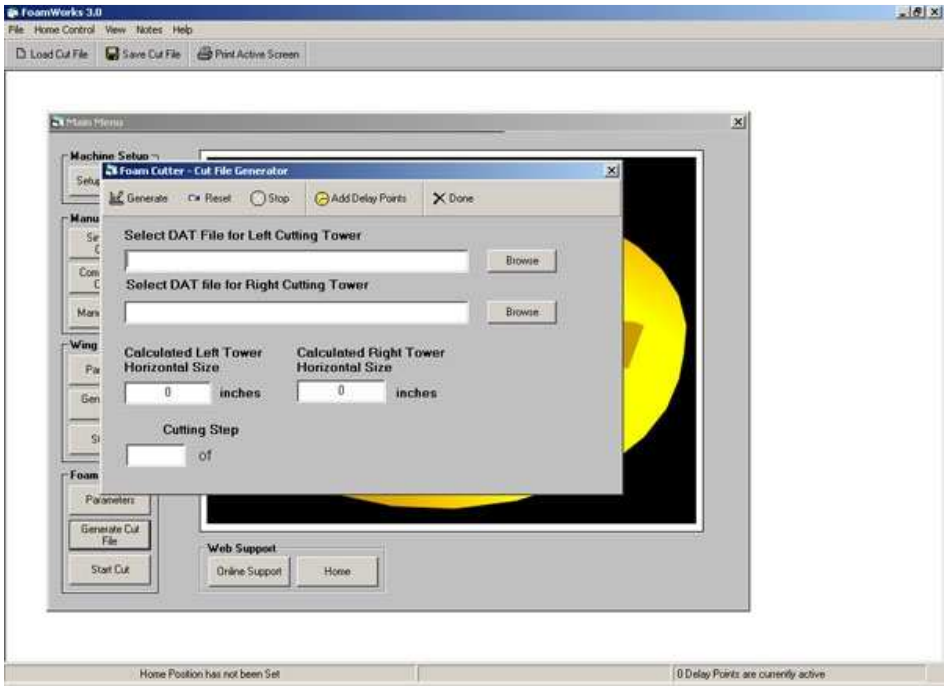


Figura 2.21. Generar archivo de corte

2.7.3 LOAD CUT FILE

Cuando la generación del archivo de corte este completada, el usuario si desea puede guardar el archivo de corte, para recuperar el archivo de corte en un futuro se debe usar la opción “Load” sin la necesidad de repetir los pasos de especificación y proceso de cálculo. Cuando un archivo de corte es guardado, éste es único para el perfil de la figura y para las dimensiones izquierda y derecha horizontales, (Figura 2.22)

Los archivos de corte son guardados en 3 archivos:

- Datos del archivo de corte, extensión CT1
- Datos de paso, extensión CT2
- Información de archivos DAT, extensión CT3

Cada uno de estos archivos tendrá el mismo nombre con la extensión especificada.

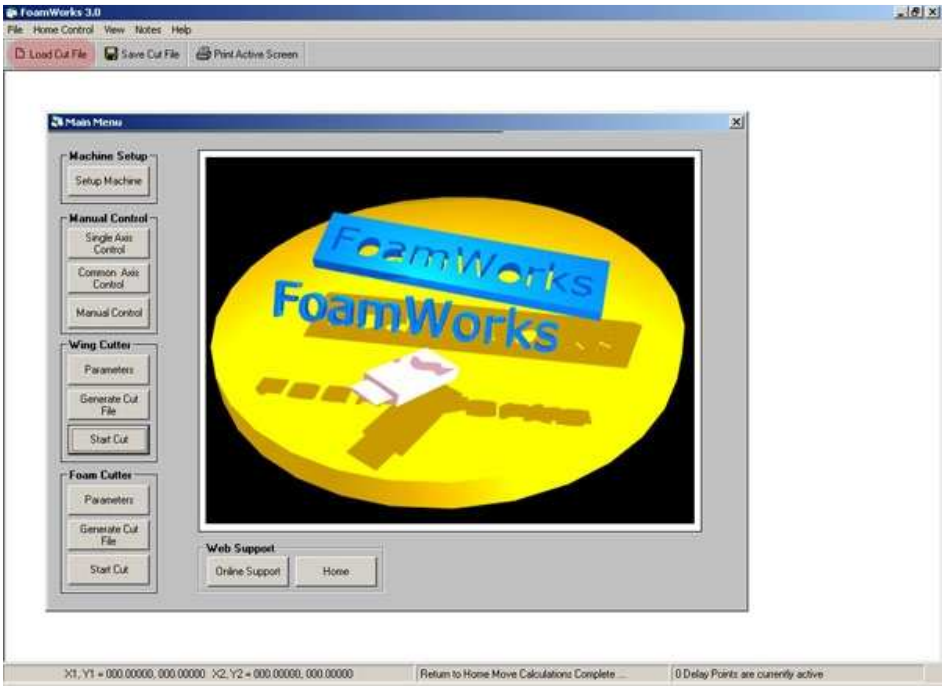


Figura 2.22. Cargar archivos de corte

2.7.4 START CUT

Cuando la generación del archivo de corte se ha completado, el usuario debe pulsar “Begin Cut” desde el menú principal. La pantalla de progreso de corte permite observar que el corte ha empezado así como el avance del corte, además permite activar o desactivara el alambre caliente y controlar la velocidad de corte (Figura 2.23)

Pulsando “Begin Cut” el proceso de cortado empieza, sobre la figura se verá el avance en color rojo. Para que el proceso de corte sea suspendido se debe pulsar “Stop”. Si el proceso de corte es suspendido, el usuario deberá mover manualmente el cortador de vuelta a la posición de inicio. Cuando el proceso de corte esta completado, pulse “Done” y regrese al menú principal.

La velocidad puede ser configurada antes de empezar el movimiento o puede ser ajustada durante el movimiento. La velocidad es ajustada presionando en el deslizador del control de velocidad “Speed Control Slider” y arrastrándolo hasta la velocidad que se desee. La configuración de la velocidad correspondiente a la posición del deslizador es mostrada en la caja de velocidad de corte.

La ventana del control manual puede ser desplegada pulsando en “Manual Control” y después pulsando “Show” o presionando simplemente la tecla F5. Para ocultar la ventana desplegada se debe pulsar “Manual Control” y después pulsar “Hide” o presionar únicamente la tecla F6.

Cuando la pantalla de corte este abierta, para observar el dibujo por completo, es posible acercarlo o alejarlo, para dicha operación se debe utilizar la teclas + (mas) y – (menos) del bloque numérico del teclado.

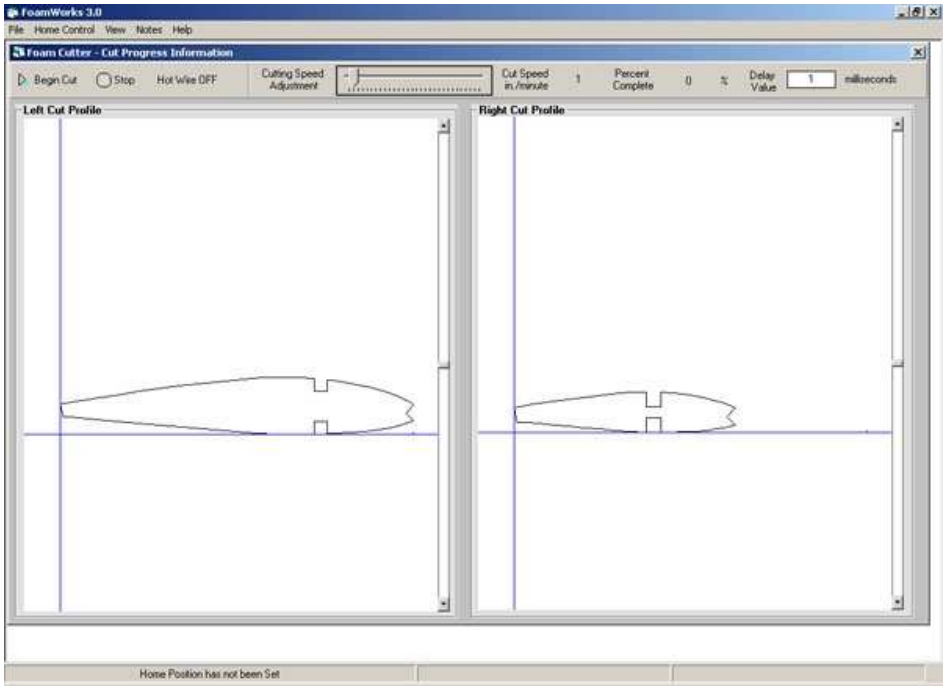


Figura 2.23. Comenzar corte

2.8 ADDING / DELETING DELAY POINTS[15]

2.8.1 DELAY POINTS – PURPOSE

Delay points permiten pausar el alambre de corte cuando el alambre necesita realizar un cambio significativo de dirección. La demora permite al alambre “entender” primero el cambio de dirección. La cantidad de tiempo de pausa es especificado en la pantalla de corte.

[15] Idem

El valor deberá ser ingresado en milisegundos. Este valor se aplicara a todos los puntos de demora que han sido incluidos en el archivo de corte. “Delay Points” son incorporados dentro del archivo de corte cuando es generado. Para cambiar los “Delay Points” se debe volver a seleccionar dichos puntos y se debe regenerar el archivo de corte (Figura 2.24).

Para agregar “Delay Points” se debe pulsar en el botón “Add Delay Points” de la pantalla de generación de archivos de corte.

Para agregar “delay Points” los archivos DAT deben ya estar seleccionados.

Debido a que para ambos archivos DAT, tanto izquierdo como derecho, deben tener el mismo número de pasos correspondientes a la misma posición relativa de cada archivo DAT, los “Delay Points” pueden ser adicionados en cualquiera de los perfiles, derecho o izquierdo. Seleccionar cualquiera de los perfiles facilita la adición de los “Delay Points”

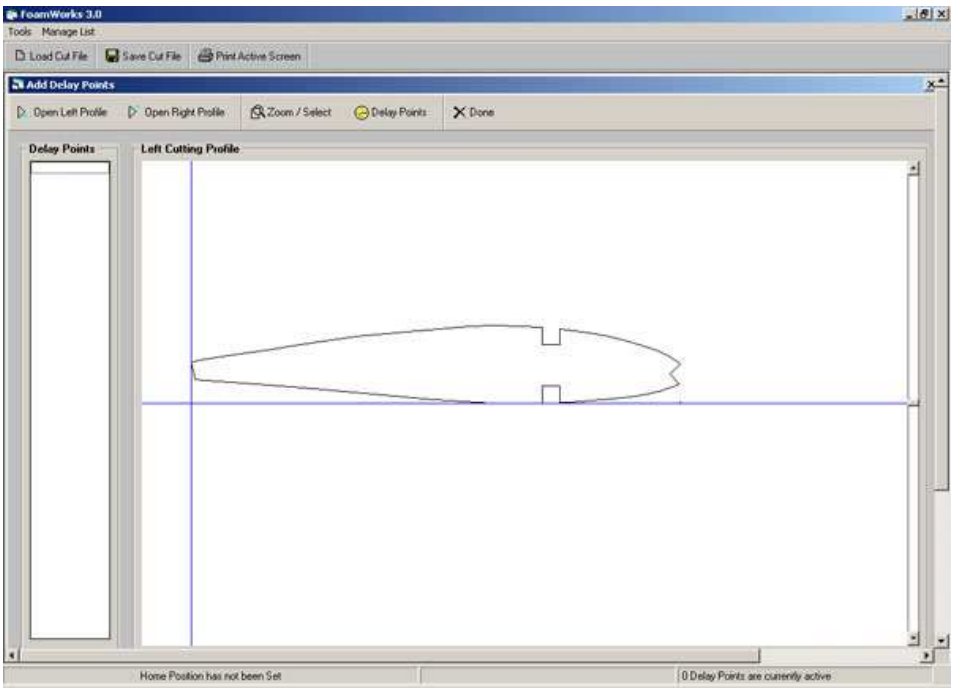


Figura 2.24. Delay Points

2.8.2 ADDING DELAY POINTS

Abrir cualquiera de las pantallas de generación de archivo de corte, ingresar los atchivos DAT que se deseen usar, después pulsar el botón “Add Delay Points” y agregar los “Delay Points” con el mouse sobre el dibujo, dar click derecho y un menú aparecerá, en el cual deberá seleccionar el ítem superior y se observara que el cursor cambia a una cruz (Figura 2.25)

Usar la cruz presionando en el punto donde se desee agregar un “Delay Point”, repetir el proceso las veces que se necesite para agregar los diferentes “Delay Points”.

Cuando se ha terminado de agregar los puntos, se debe cerrar la ventana y guardar los “Delay Points”, cuando el archivo de corte es después generado, los “Delay Points” son incorporados dentro del archivo de corte.

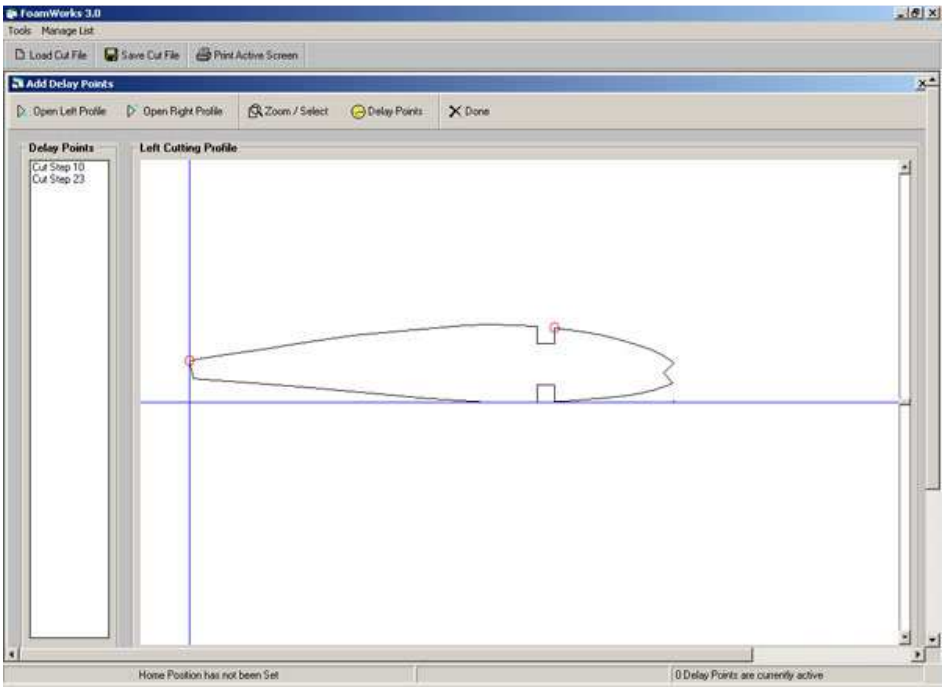


Figura 2.25. Agregar Delay Points

Las opciones de acercamiento y alejamiento también están habilitadas para la pantalla de “Delay Points”, presione click derecho sobre el dibujo y seleccione en el menú desplegable o desde ka barra de herramientas seleccione “Zoom” (Figura 2.26).

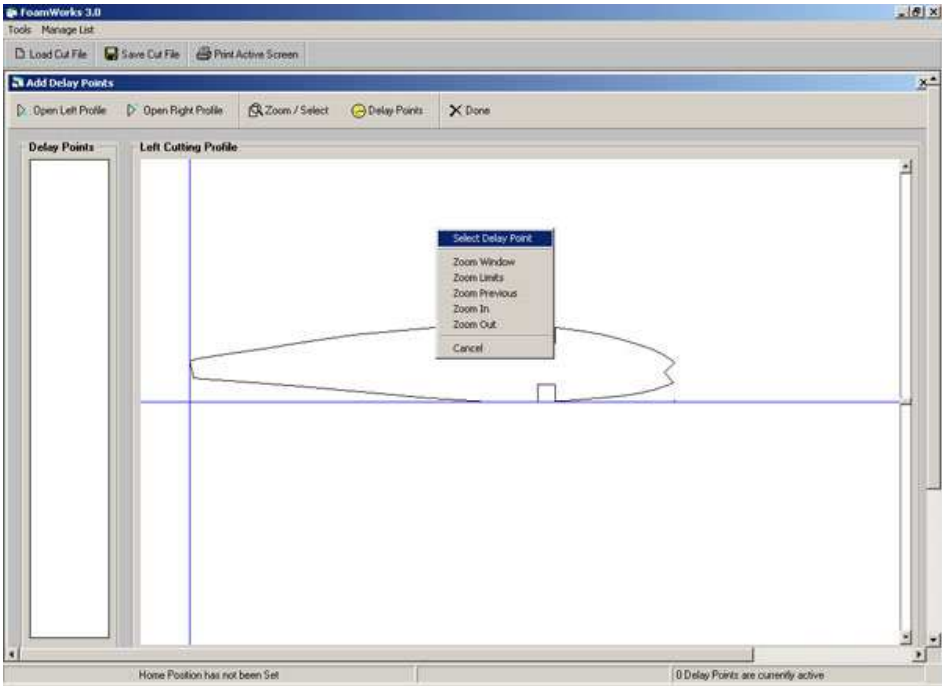


Figura 2.26. Acercamiento/ alejamiento

2.8.3 DELETING DELAY POINTS

Los “Delay Points” pueden ser borrados el momento que se desee desde la lista de éstos que se encuantra en la derecha de la pantalla. Cuando un punto ha sido seleccionado este se tornara de color azul. Para borra un punto se debe presionar el botón “Delay Points” de la barra de herramientas y seleccionar “Deleted Selected Delay Point”. Todos los puntos pueden ser borrados con un solo paso, para ello se debe presionar el botón “Delay Points” de la barra de herramientas y seleccionar “Clear All Delay Point” (Figura 2.27)

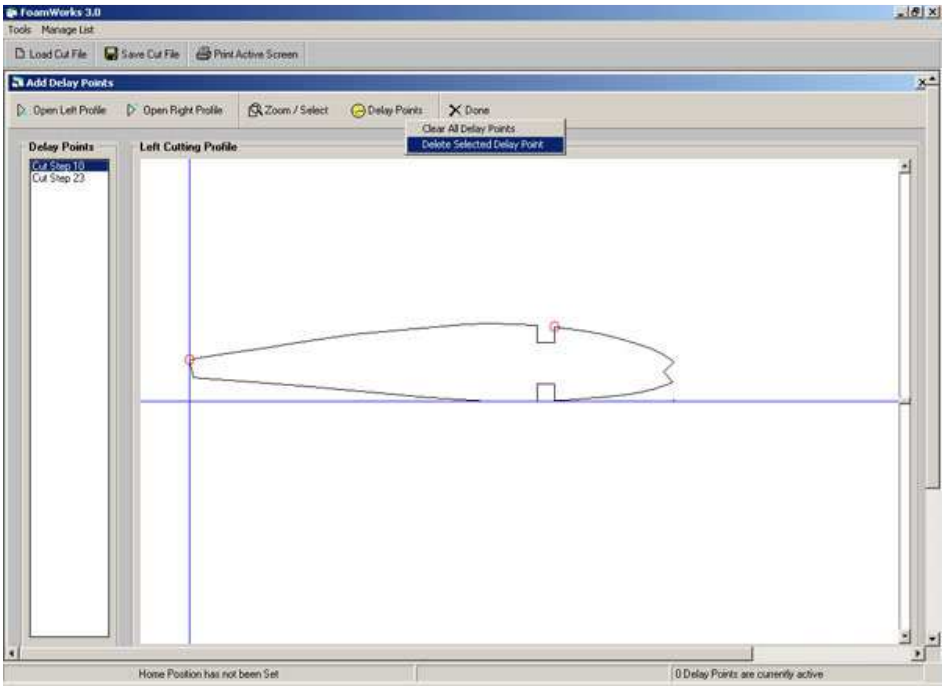


Figura 2.27. Borrar Delay Points

2.9 TROUBLE SHOOTING[16]

2.9.1 SALIDA DEL PUERTO PARALELO

Desde la ayuda del menú principal, se puede abrir "Parallel Port Output Explained", esta pantalla permite observar la configuración actual en Foamworks, además permite observar una actividad simulada del puerto paralelo basada en dicha configuración. Usando esta herramienta se puede entender como Foamworks se comunica con la tarjeta de control.

Cuando cualquiera de los botones manuales es pulsado, el monitor de puerto paralelo mostrara la actividad simulada del puerto paralelo que es el reflejo de la configuración actual de Foamworks. Por ejemplo si un motor está configurado en reversa alternara entre alto y bajo basado en la configuración de la pantalla de configuración. También aparecerá un corto dialogo que explicara la actividad actual. Esto no debe ser empleado como una herramienta de diagnostico, debe entenderse que solo es una herramienta que permitirá familiarizarse con la manera como el Foamworks se comunica con el controlador (Figura 2.28)

[16] Idem

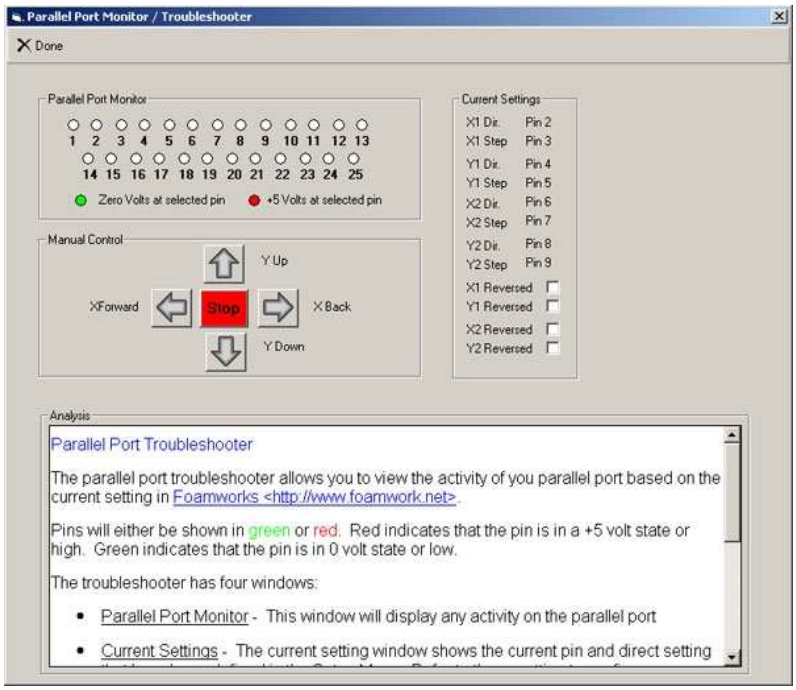


Figura 2.28. Salida del puerto paralelo

2.9.2 VIEW ACTIVITY PARALLEL PORT

Desde la ayuda del menú principal, se puede abrir “View Activity Parallel Port”, este monitor permite observara la actividad actual del puerto paralelo. Usando esta herramienta se puede diagnosticar algún tipo de problema de comunicación con el hardware.

Para observar la actividad, asegúrese que la velocidad configurada sea la más baja posible, si la velocidad está configurada en una valor alto la actividad del puerto paralelo será demasiada rápida para ser observada.

De esta manera se observa en tiempo real la actividad del puerto paralelo. Esta puede ser una herramienta muy valiosa en la solución de problemas en cuanto a comunicación con el hardware. El monitor mostrara el puerto paralelo actualmente seleccionado y los 25 pines asociados con el puerto. Estos pines pueden alternar entre 0 y +5 voltios basados en la actividad del puerto paralelo. También se puede ver la actividad desde el macho o hembra del conector del puerto.

Un pin rojo indica un estado de +5 voltios, en tanto que un pin verde indica un

estado de 0 voltios (Figura 2.29).

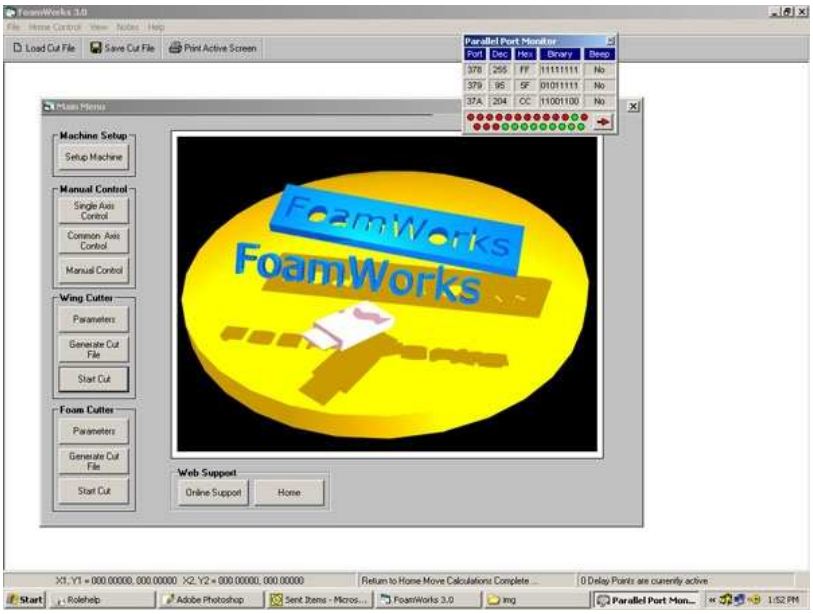


Figura 2.29. Visualización de la actividad del puerto paralelo

2.9.3 CUTTING SPEED

En computadoras lentas, la precisión de la velocidad de corte puede ser afectada por tener la “Home Position” activa, Foamworks puncionara apropiadamente con una computadora de mínimo 800MHz. Se puede usar Foamworks en computadoras lentas desactivando la barra de estado a partir de “View>Status Bar” en el menú principal.

2.9.4 SCREEN RESOLUTION

La resolución de la pantalla deberá configurarse en 1024x768 para ver todas las pantallas por completo. Foamworks funcionara con resoluciones menores, pero algunas opciones no serán visibles con una resolución de pantalla menor.

CAPITULO III

DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO Y ELECTRÓNICO

El objetivo del presente capitulo es reseñar el procedimiento empleado para el diseño tanto del sistema mecánico como del sistema electrónico, diferenciando de manera precisa los elementos a construirse así como los elementos a seleccionarse. Para el diseño de los elementos mecánicos señalaremos el método de cálculo a emplearse para el dimensionamiento de los mismos.

3.1 DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO

Los componentes mecánicos a diseñarse para el presente proyecto son los siguientes:

- Placa soporte de guías
- Guías horizontales y verticales
- Carros horizontales y verticales
- Tornillos de potencia horizontal y vertical
- Placas soporte de rodamientos
- Bastidor
- Placa soporte de planchas
- Prensas de ajuste de placas

En tanto que los elementos a seleccionarse corresponden a los que tenemos a continuación:

- Rodamientos
- Acople flexible
- Pernos para las juntas
- Bocines

En virtud de lo antes anotado nos referiremos al diseño de cada elemento de forma más detallada así como al método empleado para la selección de los elementos normalizados a continuación.

3.1.1 DISEÑO DE SOPORTE GUIAS VERTICALES

El soporte para las guías verticales, está constituido por una placa de aluminio, la cual alojara dos rodamientos para los tornillos de verticales, además permitirá la fijación de las guías verticales. El detalle de la placa se muestra en la figura 3.1.

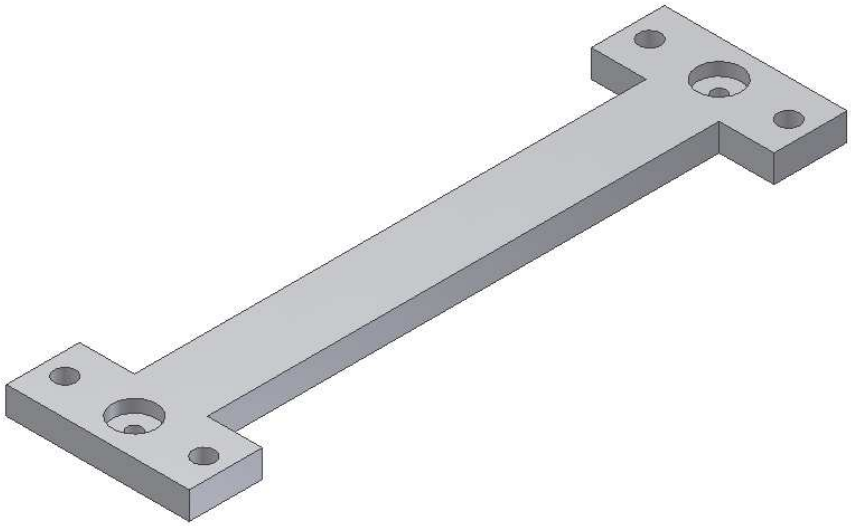


Figura 3.1. Soporte ejes verticales[17]

Dicha placa no se encuentra sujeta a mayores solicitaciones mecánicas, por lo que su diseño simplemente deberá cumplir determinados requerimientos geométricos, que permitan el montaje tanto de guías como de los rodamientos.

Las dimensiones de la placa son las que se detallan en la tabla 3.1, nótese que la placa está conformada por tres paralelepípedos unidos entre sí, por lo que solo se detallara las dimensiones de dos de ellas

Tabla 3.1. Dimensiones de soporte de ejes verticales

Longitud [mm]	Ancho [mm]	Espesor [mm]
100	40	15
280	40	15

Fuente: Leonardo Beltrán - Santiago Vela
Elaborado: Leonardo Beltrán - Santiago Vela

[17] Obtenido del Software Inventor Profesional 2008

El material a emplearse para la elaboración de este elemento será aluminio debido a su peso bajo y su facilidad para el maquinado.

Para cálculos posteriores es necesario establecer el peso del elemento, para lo cual primero se debe calcular el volumen de cada componente de la placa, de tal manera que se tiene:

$$Vol_1 = longitud \times ancho \times espesor$$

$$Vol_1 = 100\,mm \times 40\,mm \times 15\,mm$$

$$Vol_1 = 60000\,mm^3$$

Por ser dos elementos este volumen corresponde multiplicar por 2

$$Vol_{1T} = 60000 \cdot 2$$

$$Vol_{1T} = 120000$$

Para la parte más grande tenemos:

$$Vol_2 = longitud \times ancho \times espesor$$

$$Vol_2 = 280\,mm \times 40\,mm \times 15\,mm$$

$$Vol_2 = 168000\,mm^3$$

Y el volumen total seria:

$$Vol_T = Vol_{1T} + Vol_2$$

$$Vol_T = 120000 + 168000$$

$$Vol_T = 288000$$

Una vez calculado el volumen se procederá a calcular la masa del elemento a través de la relación de la densidad, puesto que se conoce que para el caso del aluminio su densidad es de 2700 kg/m^3, por lo que se obtiene:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho \times V$$

$$m = 2700\frac{kg}{m^3} \times 288000 \times 10^{-9} m^3$$

$$m = 0.78\ kg$$

A partir de este dato se puede encontrar el valor del peso del elemento, el mismo que será la carga que deberá ser elevada por el husillo vertical, para el efecto tenemos:

$$W = m \times g$$

$$W = 0.78kg \times 9.8\ {}^{m}/_{s^2}$$

$$W = 7.64\ N$$

3.1.2 DISEÑO DE GUIAS VERTICALES

Las guías verticales brindaran estabilidad en cuanto al desplazamiento del carro vertical. Su diseño es geométrico debido a que no está expuesto a solicitaciones mecánicas y la única consideración que se debe tener en cuenta es la facilidad del montaje y la facilidad del movimiento del carro vertical.

La geometría de la guía vertical es la mostrada en la figura 3.2, y sus dimensiones son las contenidas en la tabla 3.2, que se muestran a continuación:

Figura 3.2. Guía vertical[18]

[18] Idem

Tabla 3.2. Dimensiones de guía vertical

Longitud [mm]	Diámetro [mm]
754	12.7

Fuente: Leonardo Beltrán - Santiago Vela
Elaborado: Leonardo Beltrán - Santiago Vela

El material a emplearse para la elaboración de este elemento será acero, debido a su facilidad para el maquinado ya que necesitamos un buen acabado superficial que nos garantice un suave deslizamiento.

Para cálculos posteriores es necesario establecer el peso del elemento, para lo cual primero se debe calcular el volumen del mismo, de tal manera que se tiene:

$$Vol = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot L$$

$$Vol = \pi \cdot \frac{12.7^2}{4} \cdot 754$$

$$Vol = 95514 \times 10^{-9} m^3$$

Una vez calculado el volumen se procederá a calcular la masa del elemento a través de la relación de la densidad, puesto que se conoce que para el caso del aluminio su densidad es de 2700 kg/m^3 aproximadamente, por lo que se obtiene:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho \times V$$

$$m = 2700 \frac{kg}{m^3} \times 95514 \times 10^{-9} m^3$$

$$m = 0.26\, kg$$

A partir de este dato se puede encontrar el valor del peso del elemento, el mismo que será la carga que deberá soportar el carro horizontal, para el efecto tenemos:

$$W = m \times g$$

$$W = 0.26\ kg \times 9.8\ {}^{m}/_{s^2}$$

$$W = 2.55\ N$$

3.1.3 DISEÑO DE GUIAS HORIZONTALES

Las guías horizontales brindaran estabilidad en cuanto al desplazamiento del carro horizontal. Su diseño es geométrico debido a que no está expuesto a solicitaciones mecánicas, la única consideración que se debe tener en cuenta es la facilidad del montaje y la facilidad del movimiento del carro horizontal.

La geometría de la guía horizontal es la mostrada en la figura 3.3, y sus dimensiones son las contenidas en la tabla 3.3, que se muestran a continuación:

Figura 3.3. Guía horizontal[19]

Tabla 3.3. Dimensiones de guía horizontal

Longitud [mm]	Diámetro [mm]
820	12.7

Fuente: Leonardo Beltrán - Santiago Vela
Elaborado: Leonardo Beltrán - Santiago Vela

El material a emplearse para la elaboración de este elemento será acero, debido a su facilidad para el maquinado ya que necesitamos un buen acabado superficial que nos garantice un suave deslizamiento.

Para cálculos posteriores es necesario establecer el peso del elemento, para lo cual primero se debe calcular el volumen del mismo, de tal manera que se tiene:

[19] Idem

$$Vol = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot L$$

$$Vol = \pi \cdot \frac{12.7^2}{4} \cdot 820$$

$$Vol = 103875 \times 10^{-9} m^3$$

Una vez calculado el volumen se procederá a calcular la masa del elemento a través de la relación de la densidad, puesto que se conoce que para el caso del acero su densidad es de 7600 kg/m^3 aproximadamente, por lo que se obtiene:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho \times V$$

$$m = 7600 \frac{kg}{m^3} \times 103875 \times 10^{-9} m^3$$

$$m = 0.79\ kg$$

A partir de este dato se puede encontrar el valor del peso del elemento, el mismo que será la carga que deberá soportar el carro horizontal, para el efecto tenemos:

$$W = m \times g$$

$$W = 0.79kg \times 9.8\ {}^{m}/_{s^2}$$

$$W = 7.74N$$

3.1.4 DISEÑO DE CARRO VERTICAL

El carro vertical tendrá como funciones principales: sujetar y desplazar el alambre de corte en la dirección Y, para la sujeción del alambre se cuenta con un alojamiento roscado de 5 mm de longitud y 5 mm de diámetro, además tendrá tres agujeros pasantes, dos para las guías y uno para el husillo vertical como se puede observar en la figura 3.4.

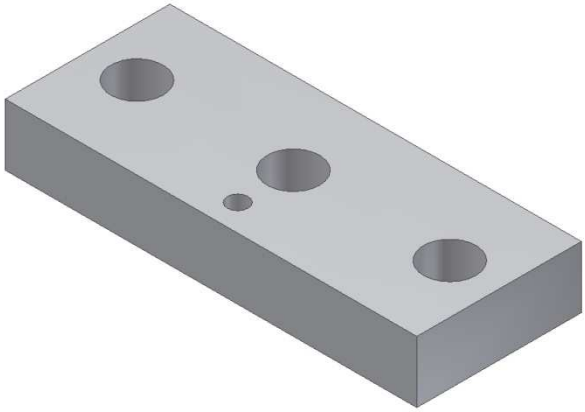


Figura 3.4. Carro vertical[20]

Su diseño es puramente geométrico, puesto que no se encuentra sometido a solicitaciones mecánicas que provoquen algún efecto sobre el mismo. De esta manera tenemos que sus dimensiones son las que se detallan en la tabla 3.4, valores que deberán ser tomados en cuenta para el cálculo del volumen del elemento.

Tabla 3.4. Dimensiones de carro vertical

Longitud [mm]	Ancho [mm]	Espesor [mm]
100	40	15

Fuente: Leonardo Beltrán - Santiago Vela
Elaborado: Leonardo Beltrán - Santiago Vela

El material a emplearse para la elaboración de este elemento será aluminio, debido a su peso bajo y su facilidad para el maquinado.

Para cálculos posteriores es necesario establecer el peso del elemento, para lo cual primero se debe calcular el volumen del mismo, de tal manera que se tiene:

$$Vol = longitud \times ancho \times espesor$$

$$Vol = 100\ mm \times 40\ mm \times 15\ mm$$

$$Vol = 60000\ mm^3$$

[20] Idem

Una vez calculado el volumen se procederá a calcular la masa del elemento a través de la relación de la densidad, puesto que se conoce que para el caso del aluminio su densidad es de 2700 kg/m^3, por lo que se obtiene:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho \times V$$

$$m = 2700 \frac{kg}{m^3} \times 60000 \times 10^{-9} m^3$$

$$m = 0.162\ kg$$

A partir de este dato se puede encontrar el valor del peso del elemento, el mismo que será la carga que deberá ser elevada por el husillo vertical, para el efecto tenemos:

$$W = m \times g$$

$$W = 0.162\ kg \times 9.8\ {}^{m}/_{s^2}$$

$$W = 1.6\ N$$

3.1.5 DISEÑO DEL CARRO HORIZONTAL

El carro horizontal tendrá como funciones principales: soportar a las guías verticales, los tornillos de potencia verticales, los motores de los tornillos verticales, el carro vertical y desplazar el alambre de corte en la dirección X; la geometría del elemento es la indicada en la figura 3.5, como se puede apreciar consta de una placa horizontal y tres placas verticales unidas por medio de soldadura.

Su diseño es puramente geométrico, puesto que no se encuentra sometido a solicitaciones mecánicas que provoquen algún efecto sobre el mismo, ya que las cargas que soporta son muy bajas como se indica en la tabla 3.5.

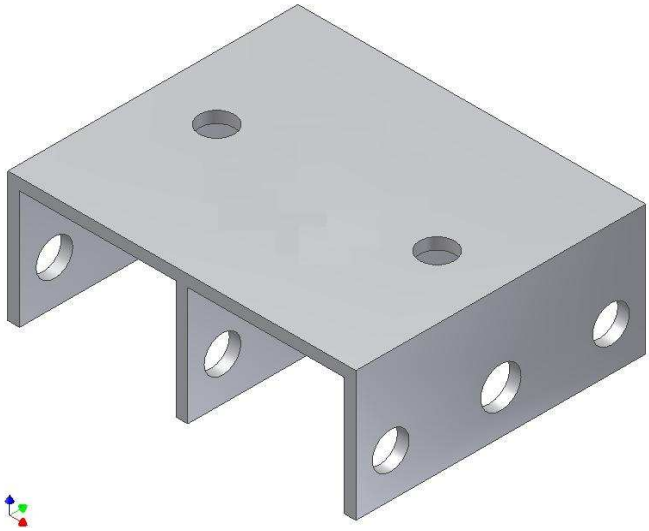


Figura3.5. Carro horizontal[21]

Tabla 3.5. Cargas sobre carro horizontal

Elemento	Peso unitario [N]	N°de elementos	Peso total [N]
Guía vertical	2.55	2	5.10
Tornillo vertical	7.00	1	7.00
Motor para eje vertical	2.45	1	2.45
Acople flexible	1.96	1	1.96
Elemento	Peso unitario [N]	N°de elementos	Peso total [N]
Carro vertical	1.60	1	1.60
Placa soporte	3.82	1	3.82
		TOTAL	21.93

Fuente: Leonardo Beltrán - Santiago Vela
Elaborado: Leonardo Beltrán - Santiago Vela

Las dimensiones del carro son las que se detallan en la tabla 3.6, valores que deberán ser tomados en cuenta para el cálculo del volumen del elemento.

El material a emplearse para la elaboración de este elemento será acero debido a las facilidades que presenta para la soldadura.

[21] Idem

Tabla 3.6. Dimensiones de carro horizontal

Elemento	Longitud [mm]	Ancho [mm]	Espesor [mm]
Placa horizontal	120	100	4
Placa vertical	120	45	4

Fuente: Leonardo Beltrán - Santiago Vela
Elaborado: Leonardo Beltrán - Santiago Vela

Para cálculos posteriores es necesario establecer el peso del elemento, para lo cual primero se debe calcular el volumen del mismo, de tal manera que se tiene:

Placa horizontal:

$$Vol_{PH} = longitud \times ancho \times espesor$$

$$Vol_{PH} = 120\ mm \times 100\ mm \times 4\ mm$$

$$Vol_{PH} = 48000\ mm^3$$

Placa vertical

$$Vol_{PV} = longitud \times ancho \times espesor$$

$$Vol_{PV} = 120\ mm \times 45\ mm \times 4\ mm$$

$$Vol_{PV} = 21600\ mm^3$$

Al tener tres placas verticales corresponde multiplicar el valor del volumen obtenido para una placa por dicho factor (3)

$$Vol_{PVT} = 3 \times Vol_{PV}$$

$$Vol_{PVT} = 64800$$

El volumen total será la suma de los volúmenes obtenidos tanto para la placa horizontal como para las placas verticales, por tanto se tiene:

$$Vol_T = Vol_{PH} + Vol_{PVT}$$

$$Vol_T = 48000 + 64800$$

$$Vol_T = 112800\, mm^3$$

Una vez calculado el volumen total se procederá a calcular la masa del elemento a través de la relación de la densidad, puesto que se conoce que para el caso del acero su densidad es de7600 kg/m^3 en promedio, por lo que se obtiene:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho \times V$$

$$m = 7600 \frac{kg}{m^3} \times 112800 \times 10^{-9} m^3$$

$$m = 0.86kg$$

A partir de este dato se puede encontrar el valor del peso del elemento, el mismo que será la carga que deberá ser elevada por el husillo vertical, para el efecto tenemos:

$$W = m \times g$$

$$W = 0.86kg \times 9.8\ {}^{m}/_{s^2}$$

$$W = 8.43N$$

3.1.6 DISEÑO DE LOS TORNILLOS DE POTENCIA

3.1.6.1 Introducción

Para el diseño de los tornillos de potencias a emplearse en la maquina es pertinente primero conocer el método de cálculo que nos ayudara a la selección de dichos elementos.

En vista de lo antes mencionado, nos referiremos en primer lugar a la terminología que se usa para las roscas de tornillos:

- p, paso: es la distancia entre dos hilos adyacentes.

- l, avance: es la distancia que avanza una tuerca cuando se le da una vuelta. Existen roscas de tipo doble y triple, en las cuales se avanza dos o tres veces el paso respectivamente.
- λ , ángulo de avance: es el ángulo que forma una tangente a la hélice con un plano normal al eje del tornillo,

Estos tres conceptos se pueden observar en la figura 3.6 que se muestra a continuación:

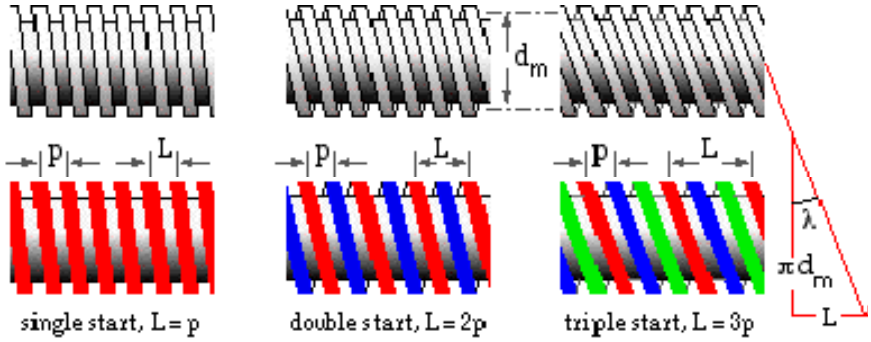


Figura 3.6. Paso y avance[22]

Es claro suponer que los tornillos con hélices múltiples avanzan más rápido que los tornillos de hélice simple

En la figura 3.7 se puede observar la nomenclatura de las roscas.

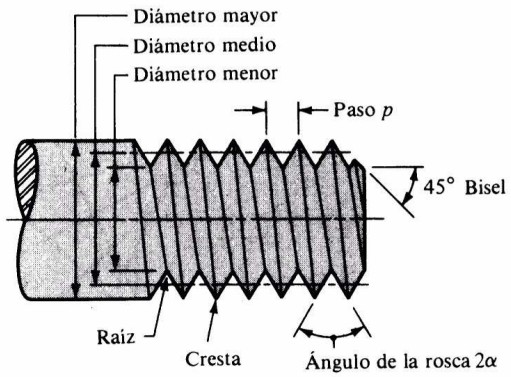


Figura 3.7. Nomenclatura para rosca de tornillo.[23]

Existen varios tipos de rosca, entre ellas tenemos las roscas métricas (M), la rosca unificada fina (UNF), la rosca unificada normal (corriente) (UNC), la rosca

[22] (http://www.fing.edu.uy/iimpi/academica/grado/elemmaq/teorico/TornilloDePotencia2007)
[23] SHIGLEY J. (2002), "Diseño en Ingeniería Mecánica", Ed. Mc Graw-Hill, pág. 454

Witworth de paso fino (BSF), la rosca Witworth de paso normal (BSW o W), por nombrar algunas. Las diferencias radican en la forma de los filetes que los hacen más apropiados para una u otra tarea. En la figura 3.8 se indican algunas formas de roscas, los filetes triangulares son utilizados en pernos y tuercas, los filetes redondos son utilizados en uniones rápidas de tuberías, finalmente las roscas rectangulares en general se utilizan para ejercer fuerza en prensas.

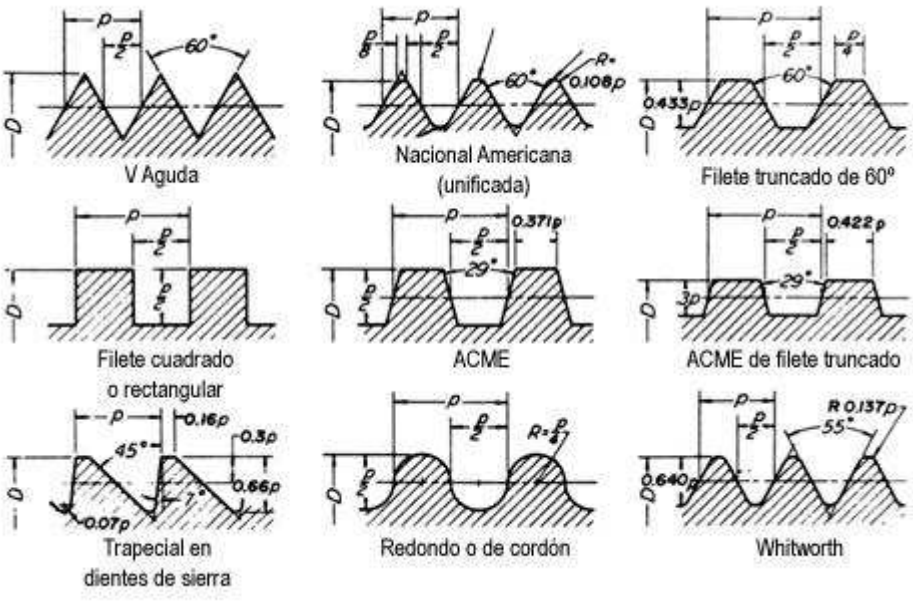


Figura 3.8. Tipos de rosca

Dependiendo de la aplicación que se requiera existen tres tipos fundamentales de perfil de rosca, que son las siguientes:

- Rosca ACME; es el tipo de rosca más utilizado en maquinas herramientas, se debe considerar ajustes tipo: 2G, 3G y 4G. Además existe el tipo ACME truncada, que es empleada en aquellas aplicaciones donde se necesita el paso grande y poca profundidad.
- Rosca cuadrada (Sellers); se lo considera como el tipo de rosca mas eficiente en cuanto a fricción por deslizamiento se refiere, no obstante su ventaja mecánica es baja y la dificultad de maquinado aparecen como limitantes.
- Rosca trapezoidal; este tipo de rosca está diseñada para resistir cargas en una sola dirección y posee una mayor resistencia debido a que es espesor

de la raíz es mayor. Como ventaja se puede anotar que es de eficiencia similar a la Sellers a un costo de fabricación razonable.

3.1.6.2 Tornillo de potencia

Un tornillo de potencia sirve para convertir el movimiento circular en movimiento lineal, ya que de estos se puede obtener una gran ventaja mecánica por lo que son muy empleados para el desplazamiento tanto horizontal como vertical de cargas.

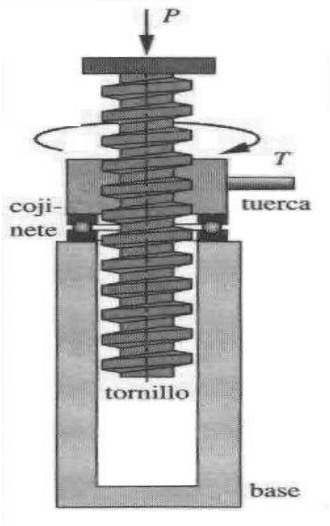


Figura 3.9. Tornillo de potencia[24]

La Figura 3.9 muestra una disposición posible de tornillo de potencia utilizado como gato para elevar una carga. La tuerca se hace gira mediante un par de torsión aplicado T y el tornillo se mueve verticalmente hacia arriba para levantar la carga Po al contrario para bajarla. Es necesario que exista alguna fricción sobre la superficie de carga, para evitar que el tornillo gire con la tuerca. Por otra parte, el tornillo podría girarse contra una tuerca fija para elevar la carga. De cualquier manera se causará una fricción significativa entre tornillo y tuerca, así como fricción entre tuerca y base, lo que condiciona su uso y obliga a la utilización de un cojinete de empuje, según se muestra. Si se emplea un cojinete de empuje simple (es decir, no giratorio) es posible que la interfaz del cojinete genere un par

[24] NORTON L, ( ), *"Diseño de Máquinas",* Ed. Prentice Hall, pág. 897

de torsión de fricción más elevado que la rosca. Para reducir dicho efecto en esta aplicación por lo general se recurre a cojinetes de empuje de bolas.

Otra aplicación de los tornillos de potencia es en actuadores lineales que tienen motorizada la rotación de la tuerca para trasladar el tornillo o que motorizan la rotación de éste para trasladar la tuerca, como se puede observar en la Figura 3.10. Estos dispositivos son muy utilizados en máquinas herramienta para desplazar la mesa y la pieza de, en máquinas de ensamble para colocar piezas y en aeronaves para mover las superficies de control. Si la entrada giratoria proviene de un solo motor o de un motor por pasos, en combinación con un tomillo de precisión, es posible conseguir un posicionamiento muy preciso

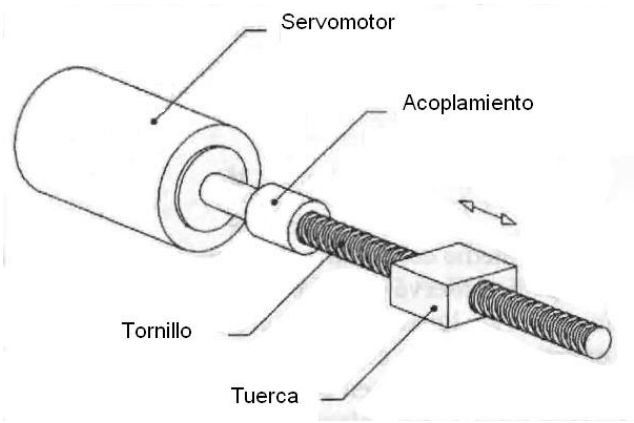


Figura 3.10. Tornillo impulsado por servomotor[25]

3.1.6.3 Análisis de la flexión del tornillo de potencia

El análisis del tornillo a flexión se lo realizará únicamente para el tornillo horizontal puesto que este es el que soporta las cargas de los elementos montados superiormente. Para su análisis se lo ha considerado como si fuese un eje de determinado diámetro a el cual está sometido a flexión pura.

Debido a esta consideración tenemos que la expresión a usar para determinar el diámetro sería la siguiente:

$$^{26}\sigma = \frac{Mc}{I}$$

[25] Idem, pág. 899
[26] SHIGLEY J. (2002), “Diseño en Ingeniería Mecánica”, Ed. Mc Graw-Hill, pág 114

Donde:

σ Esfuerzo a flexión

M Momento Flector

c Distancia del eje neutro a la fibra a analizar

I Inercia

Para garantizar que el esfuerzo sea menor que el límite de fluencia del materia se incluye un factor de seguridad, por lo que tendríamos la siguiente expresión:

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{n}$$

Considerando que se trata de un elemento con sección circular, tenemos la expresión para la inercia como:

$$I = \frac{\pi d^4}{64}$$

El análisis debemos orientarlo a la fibra extrema por lo tanto la distancia c será igual a

$$c = \frac{d}{2}$$

Combinando las ecuaciones anteriormente anotadas se tiene para el esfuerzo a flexión lo siguiente:

$$\sigma = \frac{32M}{\pi d^3}$$

Puesto que el esfuerzo a flexión debe ser menor que el esfuerzo admisible, tenemos lo siguiente:

$$\frac{32M}{\pi d^3} \leq \sigma_{adm}$$

Por lo tanto para el diámetro mínimo requerido tenemos lo siguiente:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M \cdot n}{\pi \cdot S_y}}$$

Para el caso particular de nuestro tornillo de potencia horizontal tenemos los siguientes datos a emplear

Material: acero A-36

Limite a la fluencia: 260 Mpa

Longitud: 755 mm con apoyos en los extremos a 10 mm cada uno

Factor de seguridad de 2.5

En primer lugar se debe calcular el momento flector, para ello debemos establecer las cargas que actúan sobre el eje. En este caso las cargas actuantes son las que se muestran en la tabla 3.7, así tenemos lo siguiente:

Tabla 3.7. Cargas sobre el tornillo y guías horizontales

Elemento	Peso [N]
Guía vertical	5.10
Tornillo vertical	7.00
Motor para eje vertical	2.45
Acople flexible	1.96
Carro vertical	1.60
Placa soporte	3.82
Carro horizontal	8.43
Elementos de sujeción	2.45
	32.81

Fuente: Leonardo Beltrán - Santiago Vela
Elaborado: Leonardo Beltrán - Santiago Vela

Este resultado corresponde dividir para tres puesto que dicha carga tendrá tres puntos de apoyo, entonces

$$P = \frac{32.81}{3}$$

$$P \cong 11\ N$$

La disposición de la carga se la considera como puntual y que actúa en el punto medio como se indica en la figura 3.10.

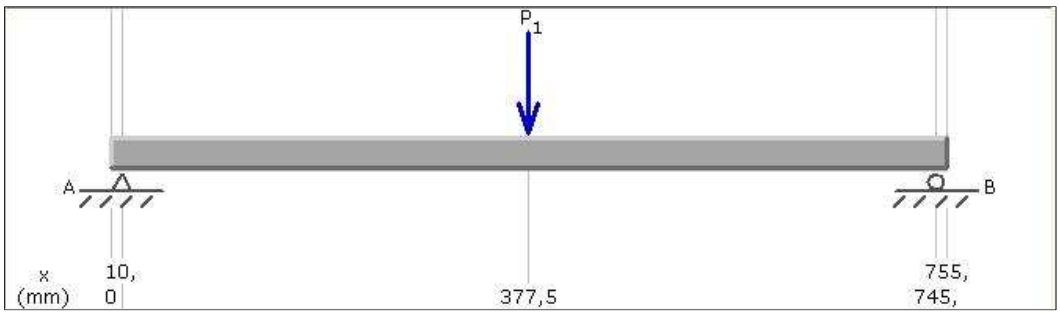


Figura 3.11. Diagrama de cargas[27]

El diagrama de corte es que se muestra en la figura 3.11.

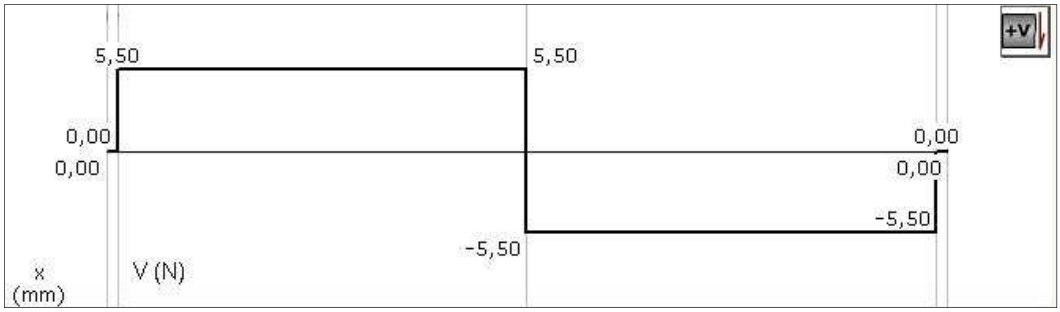


Figura 3.12. Diagrama de corte[28]

El diagrama de momentos flectores es el que se muestra en la figura 3.12.

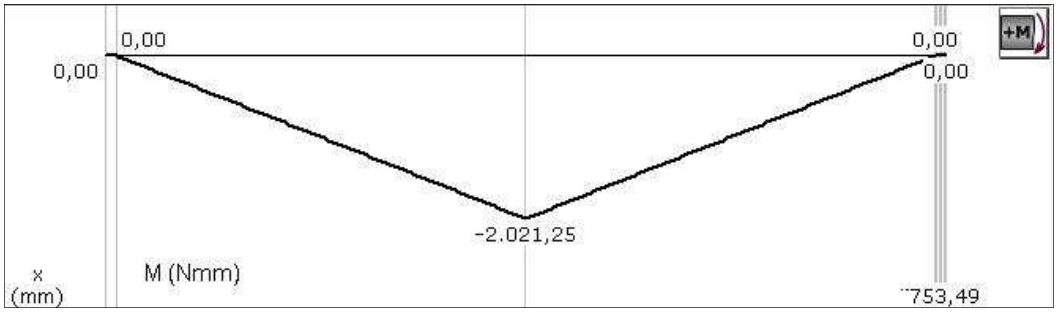


Figura 3.13. Diagrama del momento flector[29]

[27] Obtenidos del Software MDSolids
[28] Idem
[29] Idem

Del diagrama de momento flector se tiene que el máximo tiene un valor de 2021.25 Nmm y podemos aplicar la fórmula para el diámetro:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M \cdot n}{\pi \cdot S_y}}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 2021.25 \cdot 2.5}{\pi \cdot 260}}$$

$$d = 5.83\, mm$$

3.1.6.4 Análisis a fatiga del tornillo de potencia

El tornillo de potencia al estar en rotación continua, cambia el punto de aplicación de la fuerza, es decir en un instante se encuentra a tracción y a continuación a compresión, por lo que se hace necesario un análisis a fatiga del elemento mencionado, para ello es conveniente primero encontrar el esfuerzo medio y el esfuerzo amplitud a través de las siguientes expresiones

- Esfuerzo amplitud. Corresponderá al esfuerzo por flexión y por tanto:

$$\sigma_a = \frac{32M}{\pi d^3}$$

- Esfuerzo medio. Corresponderá al esfuerzo por la torsión y por tanto:

$$\sigma_m = \frac{16T}{\pi d^3}$$

Empleando el criterio de Goodman modificado:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y} = \frac{1}{n}$$ [30]

Y se obtiene para el diámetro la siguiente expresión

$$\frac{32M}{\pi d^3 S_e} + \frac{16T}{\pi d^3 S_y} = \frac{1}{n}$$

[30] SHIGLEY J. (2002), “Diseño en Ingeniería Mecánica”, Ed. Mc Graw-Hill , pág 408.

$$d = \sqrt[3]{\frac{n\left(32MS_e + 16TS_y\right)}{\pi S_e S_y}}$$

La expresión para el límite a la fatiga S_e es la siguiente:

$$^{31}S_e = k_a k_b k_c k_d k_e S'_e$$

Donde:

k_a Es el factor de modificación de la condición superficial

k_b Es el factor de modificación del tamaño

k_c Es el factor de modificación de la carga

k_d Es el factor de modificación de la temperatura

k_e Es el factor de modificación de efectos varios

S'_e Es el límite a la fatiga en viga rotatoria

Corresponde detallar entonces el procedimiento para la obtención de cada factor

El factor k_a se obtiene de la siguiente expresión, que debe ser complementada con la tabla del anexo A1

$$^{32}k_a = aS_{ut}^b$$

El factor k_b se obtiene de la siguiente expresión:

$$^{33}k_b = \begin{cases} \left(\frac{d}{7.62}\right)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \le d \le 51\ mm \\ 0.859 - 0.000837d & 51 \le d \le 254\ mm \end{cases}$$

El factor k_c se obtiene de la tabla A2

El factor k_d se obtiene de la tabla A3

[31] Idem, pág. 379
[32] Idem,
[33] Idem, pág. 380

El factor k_e depende de varios factores, en el presente proyecto lo consideraremos igual a 1

El límite a la fatiga en viga rotatoria S'_e se obtiene a través de la siguiente relación:

$$[34] S'_e = \begin{cases} 0.506 S_{ut} \ kpsi \ o \ Mpa & S_{ut} \leq 212 \ kpsi \ (1460 \ MPa) \\ 107 \ Kpsi & S_{ut} \leq 212 \ kpsi \ (1460 \ MPa) \\ 740 \ MPa & S_{ut} \geq 212 \ kpsi \ (1460 \ MPa) \end{cases}$$

Para nuestro caso las condiciones son las siguientes:

- Acero A-36 aproximadamente similar al SAE 1030 HR y por tanto

$$S_y = 260 \ MPa$$

$$S_{ut} = 470 \ MPa$$

- Momento critico

$$M = 2021.25 \ Nmm$$

- Torque entregado por el motor a ser acoplado

$$T = 145 \ Nmm$$

- Factor de seguridad de 2.5

En primer lugar se calculara los factores de modificación.

$$k_a = 4.45 \cdot 470^{-0.265}$$

$$k_a = 0.87$$

$$k_b = 1.00$$

$$k_c = 0.60$$

$$k_d = 1.00$$

$$k_e = 1.00$$

El límite de fatiga en viga rotatoria es igual a

$$S'_e = 0.506 \cdot 470$$

$$S'_e = 237.82$$

[34] Idem, pág. 375.

El límite a la fatiga entonces resulta:

$$S_e = 0.87 \cdot 1.00 \cdot 0.60 \cdot 1.00 \cdot 1.00 \cdot 237.82$$

$$S_e = 124.142\ MPa$$

El torque dado de 3.75 Nmm se debe multiplicar por un factor de rendimiento que consideraremos 75% y por tanto el torque útil es igual a:

$$T = 0.75 * 145$$

$$T = 108.75\ Nmm$$

Por lo tanto el diámetro es igual a:

$$d = \sqrt[3]{\frac{n\left(32MS_e + 16TS_y\right)}{\pi S_e S_y}}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{2.5(32 \cdot 2021.25 \cdot 124.142 + 16 \cdot 108.75 \cdot 260\ )}{\pi \cdot 124.142 \cdot 260}}$$

$$d = 5.94\ mm$$

Este valor corresponde al valor mínimo del diámetro a ser construido, por lo tanto cualquier valor por encima de este nos garantiza el funcionamiento adecuado del elemento. Por lo tanto el diámetro para el tornillo de potencia horizontal se fijara en ½ pulgada, valor que será empleado en cálculos posteriores.

3.1.6.5 Análisis de la fuerza y del par de torsión del tornillo de potencia

En primer lugar se debe considerar el tipo de perfil de rosca con la que se va a trabajar, el mismo que puede ser cuadrada o ACME por lo general.

Una rosca de tomillo se asemeja a un plano inclinado como se muestra en la figura 3.14, que se ha enroscado alrededor de un cilindro, creando una hélice, como se puede apreciar en la figura 3.13

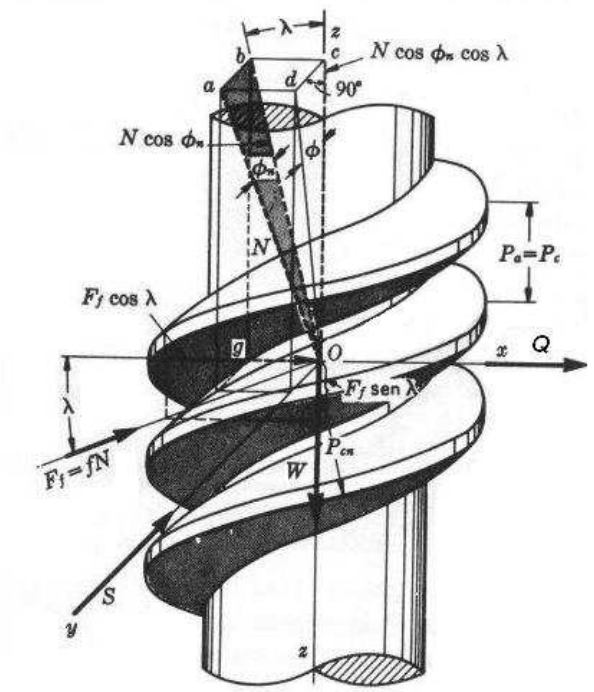


Figura 3.14. Análisis de fuerzas en un tornillo[35]

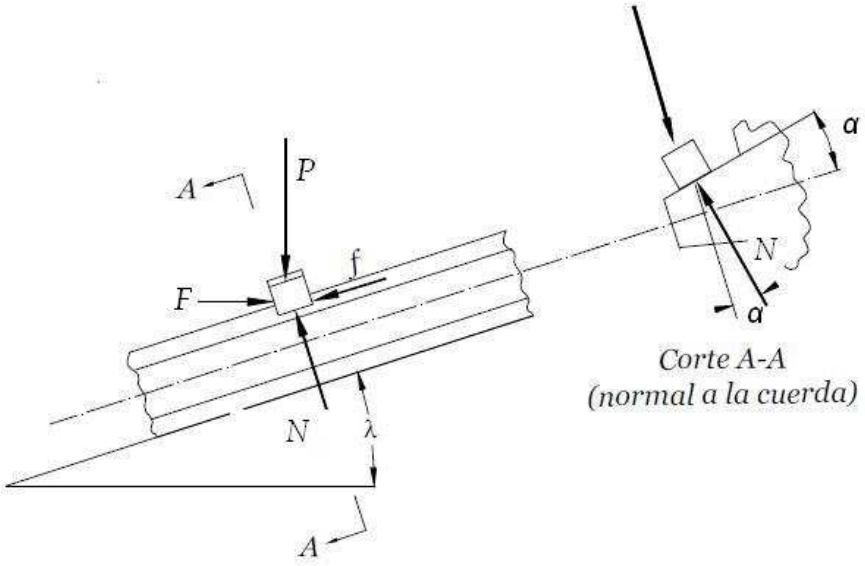


Figura 3.15. Equilibrio de fuerzas de un elemento de tuerca

Donde:

P, es la carga generada por el peso.

N, es la fuerza normal.

[35] http://www.fing.edu.uy/iimpi/academica/grado/elemmaq/teorico/TornilloDePotencia2007

f, es la fuerza de rozamiento.

F, es la fuerza generada por el par de torsión.

El ángulo de inclinación del plano se conoce como el ángulo de avance λ.

$$^{36}tan\lambda = \frac{L}{\pi d_p}$$

Donde:

L: Avance de la rosca

d_p: Diámetro de paso

Regresando a la figura XX, y puesto que el elemento se encuentra en equilibrio podemos plantear las siguientes expresiones:

$$\sum F_x = 0$$

$$F - N(\mu cos\lambda + cos\alpha sen\lambda) = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$P + N(\mu sen\lambda - cos\alpha cos\lambda) = 0$$

Si se dividen las dos ecuaciones para eliminar N, tenemos:

$$^{37}F = P\frac{(\mu cos\lambda + cos\alpha sen\lambda)}{(cos\alpha cos\lambda - \mu sen\lambda)}$$

El par de torsión aplicado al segmento de la tuerca se representa por la siguiente expresión:

$$T = F\frac{d_p}{2}$$

Y como este es el par necesario para elevar la carga P entonces tenemos:

[36] NORTON L, *"Diseño de Máquinas",* Ed. Prentice Hall, pág 897.
[37] Idem

$$T = P\frac{d_p}{2}\frac{(\mu cos\lambda + cos\alpha sen\lambda)}{(cos\alpha cos\lambda - \mu sen\lambda)}$$

Se debe de tener en cuenta que en la expresión anterior no se considera el coeficiente de fricción por parte del collarín ($\mu_c = 0$)

Si dividimos la ecuación anterior para $cos\lambda$ tenemos:

$$T = P\frac{d_p}{2}\frac{(\mu + cos\alpha tan\lambda)}{(cos\alpha - \mu tan\lambda)}$$

Retomando la expresión del ángulo de avance antes anotada y reemplazando en la ecuación, tendríamos:

$$T = P\frac{d_p}{2}\frac{(\mu\pi d_p + Lcos\alpha)}{(\pi d_p cos\alpha - \mu L)}$$

Generalmente en aplicaciones de tornillos de potencia, éstos requieren de una superficie de apoyo o collarín de empuje, como se puede observar en la figura 3.15, entre el elemento que esta fijo y el que gira; esta función la desempeña el cojinete de empuje de bolas y en muchos casos se emplea una arandela simple de empuje.

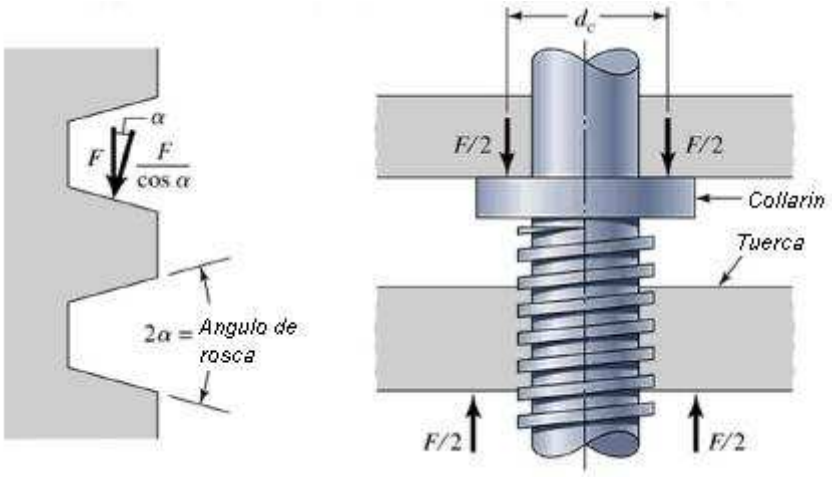


Figura 3.16. Tornillo con collarín.

Bajo estas consideraciones aparece un par de torsión extra que se debe vencer a la hora de levantar la carga y que viene dado por la siguiente expresión:

$$^{38}T_c = \mu_c P \frac{d_c}{2}$$

Por lo tanto el par de torsión total para elevar la carga a través de un tornillo de potencia con collarín viene dado por la siguiente expresión:

$$T = P\frac{d_p}{2}\frac{(\mu\pi d_p + Lcos\alpha)}{(\pi d_p cos\alpha - \mu L)} + \mu_c P\frac{d_c}{2}$$

Para bajar la carga se debe considerar que la fuerza de rozamiento cambia de dirección así como la fuerza aplicada, por lo que la expresión resultaría:

$$T = P\frac{d_p}{2}\frac{(\mu\pi d_p - Lcos\alpha)}{(\pi d_p cos\alpha + \mu L)} + \mu_c P\frac{d_c}{2}$$

Para el caso de las roscas cuadradas el ángulo α es igual a cero y por tanto las expresiones resultarían las siguientes:

Para el ascenso:

$$^{39}T = P\frac{d_p}{2}\frac{(\mu\pi d_p + L)}{(\pi d_p - \mu L)} + \mu_c P\frac{d_c}{2}$$

Para el descenso:

$$^{40}T = P\frac{d_p}{2}\frac{(\mu\pi d_p - L)}{(\pi d_p + \mu L)} + \mu_c P\frac{d_c}{2}$$

Ham y Ryan encontraron que los coeficientes son independientes de la carga, prácticamente independientes de la velocidad, disminuye con lubricantes pesados, presentan poca variación con diferentes combinaciones de materiales. Los coeficientes de fricción deslizante en tornillos de transmisión de potencia oscilan entre valores de 0.10 y 0.15

[38] Idem, pág. 900
[39] Idem
[40] Idem

En la tabla 3.8 se muestran algunos coeficientes de fricción para pares de materiales comunes, en tanto que la tabla 3.9 contiene los coeficientes de fricción deslizante del collarín de empuje tanto al inicio como ya en operación para diferentes combinaciones de materiales.

Tabla 3.8. Coeficientes de fricción para pares roscados[41]

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 maquina	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 3.9. Coeficientes de fricción de collarín de empuje[42]

Combinación	Operando	Arrancando
Acero suave sobre fundición de hierro	0.12	0.17
Acero duro sobre fundición de hierro	0.09	0.15
Acero suave sobre bronce	0.08	0.10
Acero duro sobre bronce	0.06	0.08

Para el diseño del tornillo de potencia vertical tenemos lo siguiente

- Rosca ACME
- Diámetro nominal ½ pulgada
- Paso 1/10 pulgada
- Carga a elevar de 1.6 N
- Coeficiente de fricción para el par roscado de 0.16 (Tabla 3.8)

El diámetro de raíz se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$d_r = d - p/2$$

$$d_r = 0.5 - 0.1/2$$

[41] SHIGLEY J. (2002), "Diseño en Ingeniería Mecánica", Ed. Mc Graw-Hill, pág. 465.
[42] Idem

$$d_r = 0.45\ plg$$

Es necesario el diámetro medio o de paso que se calcula mediante la siguiente expresión:

$$d_p = \frac{d + d_r}{2}$$

$$d_p = \frac{0.5 + 0.45}{2}$$

$$d_p = 0.475\ plg = 12.065\ mm$$

Al no tener collarín la ecuación para el par se reduce a:

$$T = P\frac{d_p}{2}\frac{(\mu\pi d_p + L)}{(\pi d_p - \mu L)}$$

$$T = 1.6\frac{12.065}{2}\frac{(0.16 \cdot \pi \cdot 12.065 + 0.10)}{(\pi \cdot 12.065 - 0.16 \cdot 0.1)}$$

$$T = 1.57\ Nmm$$

Este valor será el par requerido para elevar el carro vertical

Para el diseño del tornillo de potencia horizontal tenemos lo siguiente

- Rosca ACME
- Diámetro nominal ½ pulgada
- Paso 1/10 pulgada
- Carga a desplazar de 11 N
- Coeficiente de fricción para el par roscado de 0.16 (Tabla 3.8)

El diámetro de raíz se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$d_r = d - p/2$$

$$d_r = 0.5 - 0.1/2$$

$$d_r = 0.45\ plg$$

Es necesario el diámetro medio o de paso que se calcula mediante la siguiente expresión:

$$d_p = \frac{d + d_r}{2}$$

$$d_p = \frac{0.5 + 0.45}{2}$$

$$d_p = 0.475\ plg = 12.065\ mm$$

La carga de 11N es perpendicular al tornillo de potencia por lo que para introducirlo en la ecuación del par requerido se debe multiplicar este valor por el coeficiente de rozamiento entre el acero y el bronce del bocín cuyo valor es de 0.23 (Tabla 3.8), así la carga P resultaría igual a 2.53 N y el par necesario sería

$$T = P\frac{d_p}{2}\frac{(\mu\pi d_p + L)}{(\pi d_p - \mu L)}$$

$$T = 2.53\frac{12.065}{2}\frac{(0.16 \cdot \pi \cdot 12.065 + 0.10)}{(\pi \cdot 12.065 - 0.16 \cdot 0.1)}$$

$$T = 2.52\ Nmm$$

Este valor corresponde al par requerido para desplazar el carro

3.1.7 SELECCIÓN DE LOS RODAMIENTOS

3.1.7.1 introducciones a los rodamientos

En las máquinas y mecanismos se utilizan con gran frecuencia órganos de transmisión del movimiento, y muy especialmente, del movimiento de rotación, entre los que se pueden destacar: árboles y ejes.

Los árboles giran apoyados sobre unos soportes dispuestos en sus extremos, debiendo estar estos soportes suficientemente dimensionados para poder resistir con toda seguridad los esfuerzos que les transmitan aquellos.

El árbol no gira directamente sobre el soporte, sino que entre ambos se sitúa un elemento intermedio denominado cojinete. En este cojinete, el rozamiento que se

produce como consecuencia del giro del árbol, no debe sobrepasar los límites admisibles, reduciéndose éste por medio de una lubricación adecuada.

Los cojinetes pueden ser de dos tipos:

a) Cojinetes de deslizamiento (casquillos) y
b) Cojinetes de rodadura (rodamientos)

El rozamiento por rodadura que presentan los rodamientos es mucho más reducido que el rozamiento por deslizamiento de los casquillos; de allí se derivan una serie de ventajas al utilizar rodamientos frente a la utilización de casquillos, entre las que podemos señalar:

- Escaso rozamiento, sobre todo en el arranque.
- Mayor velocidad admisible.
- Menor consumo de lubricante (algunos vienen lubricados de por vida).
- Menor costo de mantenimiento.
- Menor temperatura de funcionamiento.
- Menor tamaño a igualdad de carga.
- Reducido desgaste de funcionamiento.
- Facilidad y rapidez de recambio.
- Gran capacidad de carga.

Según lo anterior, hoy día en las máquinas rotativas se utilizan mayoritariamente rodamientos.

3.1.7.2 Clasificación de los rodamientos

Desde el punto de vista de la cinemática, pueden clasificarse en tres categorías:

1. Rodamientos para cargas radiales. Pueden soportar preferentemente cargas dirigidas en la dirección perpendicular al eje de rotación, como se puede observar en la figura 3.16.

Figura 3.17. Rodamientos radiales[43]

2. Rodamientos para cargas axiales. Pueden soportar cargas que actúen únicamente en la dirección del eje de rotación, como se indica en la figura 3.17. A su vez pueden ser:
    - Rodamientos de simple efecto, que pueden recibir cargas axiales en un sentido, y
    - Rodamientos de doble efecto, que pueden recibir cargas axiales en ambos sentidos.

Figura 3.18. Rodamientos axiales[44]

3. Rodamientos para cargas mixtas. Pueden soportar esfuerzos radiales, axiales o ambos combinados, como se puede observar en la figura 3.18.

[43] http://www2.ing.puc.cl/~icm2312/apuntes/roda
[44] Idem

Figura 3.19. Rodamientos mixtos[45]

Según el tipo de elementos rodantes utilizados:

1. Rodamientos de bolas. Son adecuados para altas velocidades, alta precisión, bajo par torsional, baja vibración.
2. Rodamientos de rodillos. Los rodillos pueden ser de diferentes formas: cilíndricos, cónicos, forma de tonel (la generatriz es un arco de circunferencia) y de agujas (cilindros de gran longitud y pequeño diámetro). Se caracterizan por tener una gran capacidad de carga, asegurando una vida y resistencia a la fatiga prolongadas.

3.1.7.3 Método de selección de rodamientos

Un rodamiento con respecto a otro presenta propiedades y características que dependen de su diseño y que lo hacen más o menos adecuado para una determinada aplicación.

La consideración más importante en la selección de un rodamiento es escoger aquel que permita a la máquina o mecanismo en la cual se instala, un funcionamiento satisfactorio.

Para facilitar el proceso de selección y lograr la determinación del rodamiento más apropiado para una tarea, los factores principales a ser considerados son los siguientes:

[45] Idem

- Tipo de rodamiento
- Espacio disponible.
- Vida util
- Magnitud, dirección y sentido de la carga.
- Desalineación.

3.1.7.3.1 Tipo de rodamiento

Los rodamientos rígidos de bolas pueden soportar cargas radiales medias, así como cargas axiales. Tienen un bajo rozamiento y se pueden producir se con una alta precisión y en variantes de trabajo silencioso. Este tipo de rodamiento es preferido en motores eléctricos de tamaño pequeño y medio. Loa rodamientos de rodillo a rotula pueden soportar cargas muy pesadas y son autoalineables. Por esto son adecuados para aplicaciones en ingeniería pesada, donde las cargas son extremas y producen deformaciones y desalineaciones.

3.1.7.3.2 Espacio disponible

Generalmente una de las dimensiones principales del rodamiento, en la mayoría de los casos el diámetro del agujero, viene determinado por las características de diseño de la maquina. Para ejes de pequeño diámetro, se pueden utilizar cualquier tipo de rodamiento de bolas, siendo los rodamientos rígidos de bolas los más comúnmente utilizados; los rodamientos de agujas son también adecuados .Para ejes de grandes diámetros, se puede considerar los rodamientos de rodillos cilíndricos, los de rodillo a rotula y los de rodillos cónicos, así como los rodamientos rígidos de bolas.

Cundo el espacio radial disponible es limitado la recomendación indica, que se deben seleccionar rodamientos de pequeña sección, de forma particular aquellos de baja altura de sección como los rodamientos de la serie de diámetro de 8 a 9 .

3.1.7.3.3 Vida útil

La falla principal de los rodamientos es la fatiga superficial que se produce en las pistas de rodadura y en los elementos rodantes. Esta falla se basa en las fórmulas de esfuerzo de contacto (Hertz).

Se han desarrollado cálculos avanzados para estimar la magnitud de estas fuerzas y por otra parte se han desarrollado materiales que soporten estas cargas logrando prolongar la vida útil.

El cálculo de la vida útil es dependiente del rodamiento en particular, por lo que resulta un cálculo iterativo en el cual se escoge un rodamiento y se comprueba su vida útil, si el resultado es aproximadamente igual al seleccionado, el cálculo ha terminado, pero si la vida es menor o muy mayor de lo recomendado debe escogerse otro rodamiento y recalcular la vida.

La vida nominal de un rodamiento según la normativa ISO 281:1990 es

$$^{46}L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^{p}$$

Si la velocidad es constante, suele ser preferible calcular la vida expresada en horas de funcionamiento utilizando la ecuación

$$^{47}L_{10h} = {}^{10^6}/_{(60n)}\, L_{10}$$

Donde

L_{10} Vida nominal (con un 90 % de fiabilidad), millones de revoluciones

L_{10h} Vida nominal (con un 90 % de fiabilidad), horas de funcionamiento

C Capacidad de carga dinámica, kN

P Carga dinámica equivalente del rodamiento, kN

p Exponente de la ecuación de la vida

- 3 para los rodamientos de bolas
- 10/3 para los rodamientos de rodillos

n Velocidad de giro, rpm

[46] http://www.skf.com/portal/skf/home
[47] Idem

Para los rodamientos modernos de alta calidad, la vida nominal se puede desviar significativamente de la vida útil real. La vida útil en una aplicación depende de una variedad de factores, tales como la lubricación, el grado de contaminación, la desalineación, el montaje adecuado y las condiciones ambientales.

Por este motivo, la normativa ISO 281:1990/Amd 2:2000 contiene una fórmula de la vida modificada para complementar la vida nominal. Este cálculo de la vida usa un factor de ajuste para tener en cuenta las condiciones de lubricación y contaminación del rodamiento y el límite de fatiga del material.

El factor de ajuste de la vida a_{SKF} aplica el concepto de carga límite de fatiga Pu. Asimismo, con el fin de reflejar las condiciones de funcionamiento de la aplicación, el factor de ajuste de la vida a_{SKF} hace uso de las condiciones de lubricación (relación de viscosidad k) y del factor η_c (tabla 3.10) para el nivel de contaminación.

La relación de la viscosidad viene dada por la expresión:

$$^{48}k = \frac{v}{v_1}$$

Donde:

k Relación de viscosidad

v Viscosidad real de funcionamiento del lubricante, mm^2/s

v_1 Viscosidad nominal dependiendo del diámetro medio del rodamiento y de la velocidad de giro, mm^2/s

Los valores de v_1 y v se obtienen de los diagramas de las figura B5 y B6 respectivamente

[48] Idem

Tabla 3.10. Valores orientativos del factor de ajuste ηc para diferentes grados de contaminación

Condición	Factor ηc	
	dm< 100 mm	dm> 100 mm
Limpieza extrema Tamaño de las partículas del orden del espesor de la película de lubricante Condiciones de laboratorio	1	1
Gran limpieza Aceite filtrado a través de un filtro extremadamente fino Condiciones típicas de rodamientos engrasados de por vida y obturados	0,8 … 0,6	0,9 … 0.8
Limpieza normal Aceite filtrado a través de un filtro fino Condiciones típicas de los rodamientos engrasados de por vida y con placas de protección	0.6 … 0.5	0,8 … 0,6
Contaminación ligera Contaminación ligera del lubricante	0,5 … 0,3	0,6 … 0,4
Contaminación típica Condiciones típicas de los rodamientos sin obturaciones integrales, filtrado grueso, partículas de desgaste y entrada de partículas del exterior	0,3 … 0,1	0,4 … 0,2
Contaminación alta Entorno del rodamiento muy contaminado y disposición de rodamientos con obturación inadecuada	0,1 … 0	0,1 … 0
Contaminación muy alta	0	0

Fuente: Catalogo SKF online
Elaborado: Leonardo Beltrán - Santiago Vela

La ecuación para la vida nominal SKF cumple con la normativa ISO 281:1990/Amd 2:2000

$$^{49}L_{10} = a_1 a_{SKF} \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

Donde

a_1 Factor de ajuste de la vida para una mayor fiabilidad

a_{SKF} Factor de ajuste de la vida SKF

Los valores del factor a_1 se muestran en la tabla 3.11.

[49] Idem

Tabla 3.11. Valores del factor de ajuste de la vida útil a1

Fiabilidad %	Probabilidad de fallo n %	Vida nominal L_{nm}	a_1
90	10	L_{10m}	1
95	5	L_{5m}	0.62
96	4	L_{4m}	0.53
97	3	L_{3m}	0.44
98	2	L_{2m}	0.33
99	1	L_{1m}	0.21

Fuente: Catalogo SKF online
Elaborado: Leonardo Beltrán - Santiago Vela

La tabla 3.12 contiene valores recomendados para la vida útil que debería tener un rodamiento para las aplicaciones que se detallan.

Tabla 3.12. Valores requeridos de vida nominal L10h para diferentes clases de máquinas

Clases de máquinas	L10h horas de servicio
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, aparatos para uso médico.	300 a 3 000
Máquinas usadas intermitente o por cortos períodos: Máquinas-herramienta portátiles, aparatos elevadores para talleres, máquinas para la construcción.	3 000 a 8 000
Máquinas para trabajar con alta fiabilidad de funcionamiento por cortos períodos o intermitentemente: Ascensores, grúas para mercancías embaladas.	8 000 a 1 2000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario no totalmente utilizadas: Transmisiones por engranajes para uso general, motores eléctricos para uso industrial, machacadoras giratorias.	10 000 a 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario totalmente utilizadas: Máquinas-herramientas, máquinas para trabajar la madera, máquinas para la industria mecánica general, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipo de imprenta, separadores y centrífugos.	20 000 a 30 000
Máquinas para trabajo continuo, 24 horas al día: Cajas de engranajes para laminadores, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil.	40 000 a 50 000
Maquinaria para abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas cableadoras, maquinaria de propulsión para trasatlánticos.	60 000 a 100 000

Clases de máquinas (continuación)	L10h horas de servicio (continuación)
Maquinaria eléctrica de gran tamaño, centrales eléctricas, ventiladores y bombas para minas, rodamientos para la línea de eje de transatlánticos.	» 100 000

Fuente: Catalogo SKF online
Elaborado: Leonardo Beltrán - Santiago Vela

3.1.7.3.4 Carga de los rodamientos

Este es el factor a considerar para determinar el tamaño del rodamiento a utilizar. Generalmente, cuando las dimensiones principales son iguales, los rodamientos de rodillos pueden soportar mayores cargas de rodamientos de bolas, y los rodamientos llenos de elementos rodantes pueden soportar mayores cargas que los rodamientos con jaula correspondientes.

En particular, la carga equivalente sobre el rodamiento se obtiene de fórmulas como la siguiente:

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

Donde:

F_r Es la carga radial que se aplica sobre el rodamiento.

F_a Es la carga axial que se aplica sobre el rodamiento.

X e Y son valores adimensionales que varían para cada tipo de rodamiento.

3.1.7.3.5 Desalineación

La desalineación angular entre el eje y el soporte pueden ser originadas por:

- Flexión del eje bajo la carga de funcionamiento.
- Cuando los asientos de los rodamientos en los soportes no están a la misma altura
- Cuando los rodamientos están montados en distintos soportes y a gran distancia

Los rodamientos rígidos no pueden compensar desalineación alguna. En tanto que los rodamientos auto alienables, como los de bolas a rotulas, los de rodillo a rotula y los axiales de rodillo a rotula son adecuados para absorber las desalineaciones originadas bajo las cargas de funcionamiento y también los errores de alineación resultantes del mecanizado o en montaje.

3.1.7.4 Selección del rodamiento para el tornillo de potencia horizontal

Considerando lo anteriormente anotado, procederemos a la selección del rodamiento para nuestra maquina.

1. En cuanto a la selección de tipo de rodamiento será considerado un rodamiento de bolas puesto que es el más indicado para aplicaciones que intervengan motores eléctricos pequeños, como es el caso de la maquina.
2. En cuanto al espacio disponible únicamente consideraremos como variable al diámetro interior del rodamiento puesto que las placas soporte del mismo ofrecen cantidad suficiente en la eventualidad de un maquinado para el diámetro exterior.

   De esta manera el diámetro seria de 9 mm ya que las cargas son pequeñas. Observando el catalogo de SKF se ha seleccionado el rodamiento 609 que tiene las siguientes características
3. Para la vida útil consideraremos las recomendaciones que se indican en la tabla 3.12.

   Así tenemos que L_{10} deberá ser un valor entre 10000 y 25000 horas, puesto que nuestra maquina trabajara en jornadas de 8 hora de manera discontinua.

   Este valor se lo debe calcular en base a las ecuaciones anotadas para selección de rodamientos.

$$L_{10} = a_1 a_{SKF} \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

   Entonces tenemos que la fuerza radial que soporta el rodamiento es de 5.5 N, debido al diagrama de corte de la figura 3.12 y la fuerza axial es 0 N.

Para el rodamiento seleccionado tenemos las siguientes características que son recogidas en la tabla 3.13

Tabla 3.13 Características rodamiento 609

Dimensiones principales			Capacidades de carga		Caga limite de fatiga	Designación
			Dinámica	Estática		
d	D	B	C	Co	Pu	
mm			KN		KN	
9	24	7	3,9	1,66	0,071	609

Fuente: Catalogo SKF online
Elaborado: Leonardo Beltrán - Santiago Vela

Al no tener fuerza axial los valores de X e Y son 1 y 0 respectivamente por lo que tendríamos que la carga equivalente es igual a la carga de 5.5 N. De la tabla 3.13 el valor de C para el rodamiento seleccionado es igual a 3.9.
El valor de a_1 se obtienes de la tabla 3.11, si se considera una fiabilidad del 95% tenemos que $a_1 = 0{,}62$

Consideraremos un valor η_c= 0,6 por ser una contaminación con limpieza normal, una temperatura de funcionamiento de 25℃ aproximadamente, un aceite ISO 100, entonces según la figura B6 tenemos que $v \approx 300$ mm^2/s. La velocidad de funcionamiento será de aproximadamente de 20 rpm por tanto si analizamos la figura B5 y considerando las dimensiones anotadas en la tabla 3.13 tenemos que $v_1 = 900\ \mathrm{mm2/s}$, por lo tanto $k = 0{,}33$

El valor a_{SKF} lo obtenemos del diagrama de figura B1 y resultan ser $a_{SKF} \approx 0{,}9$
La vida nominal con las condiciones encontradas seria:

$$L_{10} = 0{,}62 \cdot 0{,}9 \left(\frac{3{,}9}{0{,}055}\right)^3$$

$$L_{10} \approx 200000$$

Valor que supera las expectativas pero que es tomado como optimo para la selección de los rodamientos

3.1.8 SELECCIÓN DEL ACOPLE

Los acoplamientos sirven para prolongar líneas de transmisión de ejes o para conectar tramos de diferentes ejes, estén o no alineados entre sí. Para llevar a cabo tales funciones se disponen de diferentes tipos de acoplamientos mecánicos.

Los acoplamientos se clasifican en los siguientes tipos:

- Acoplamientos Rígidos
  - Acoplamientos Rígidos de manguito o con prisionero
  - Acoplamientos Rígidos de platillos
  - Acoplamientos Rígidos por sujeción cónica
- Acoplamientos flexibles
  - Acoplamientos flexibles de Manguitos de goma.
  - Acoplamientos flexibles de Disco Flexible
  - Acoplamientos flexibles de fuelle Helicoidales
  - Acoplamientos flexibles de Quijadas de Goma
  - Acoplamientos flexibles Direccionales de tipo Falk
  - Acoplamientos flexibles de Cadenas
  - Acoplamientos flexibles de Engrane
  - Acoplamientos flexibles de fuelle metálico
- Acoplamientos especiales o articulados
  - Junta eslabonada de desplazamiento lateral
  - Junta universal

Analizando la tabla 3.14, en nuestro caso se necesita un acoplamiento que sea capaz de transmitir el par torsional por parte de los motores y que no permita cierto grado de desalineación axial como torsional que podríamos tener, por lo que el acoplamiento más adecuado para esta aplicación es el de quijadas de goma. La selección de este acople se lo ha realizado tomando como referencia el catalogo que se adjunta en la tabla del anexo C y el seleccionado es el SR-50

La tabla 3.14 nos da una guía para las diferentes aplicaciones de los tipos de acoples anteriormente anotados

Tabla 3.14. Características de varios acoplamientos[50]

Nombre	Desalineación tolerada				Observaciones
	Axial	Angular	Paralelo	Torsional	
Acoplamientos Rígidos	grande	ninguna	ninguna	ninguna	Se exige una alineación perfecta
Manguito de goma	moderada	ligera	ninguna	ninguna	
De disco Flexible	ligera	ligera (<3º)	ligera (<0.01d)	ligera o ninguna	Capacidad de absorber impacto. Sin juego
Helicoidal de fuelle	ligera	grande (<20º)	moderada (<0.20d)	ninguna	Gran capacidad de par torsor
De quijadas de goma	ligera	ligera (<2%)	ligera (<0.03d)	moderada	gran absorción de impacto
Tipo Falk	ligera	ninguna	ninguna	moderada	gran absorción de impacto
De cadena	ligera	ninguna	ninguna	ninguna	gran absorción de impacto
De engrane	grande	ligera (<5º)	ligera (<0.05d)	ninguna	gran capacidad de par torsor
De fuelle metálico	ligera	grande (<15º)	moderada (<0.20d)	ninguna	Falla por fatiga
Junta eslabonada lateral	ninguna	ligera (<5º)	grande (>2.00 d)	ninguna	no hay cargas laterales en los ejes
Junta universal	ninguna	grande (30º)	grande (en pares)	ninguna	la junta individual es de velocidad variable
Junta universal Rzeppa	ninguna	grande	ninguna	ninguna	posee velocidad constante
Junta lateral Oldham	ninguna	ligera (<5º)	grande (>2.00 d)	ninguna	

[50] NORTON L, *"Diseño de Máquinas",* Ed. Prentice Hall, pág. 628

3.1.9 DISEÑO DE SOPORTE PARA RODAMIENTO POSTERIOR Y ANTERIOR

Los soporte tanto para el rodamiento anterior como posterior están constituidos por una placa de aluminio, debido a su peso bajo y su facilidad para el maquinado, la cual alojara al rodamiento en cada caso. Para cumplir con su objetivo las placas poseen agujeros pasantes para pernos de sujeción así como también para las guías horizontales. El detalle de la geometría de las placas se muestra en la figura 3.20a y figura 3.20b.

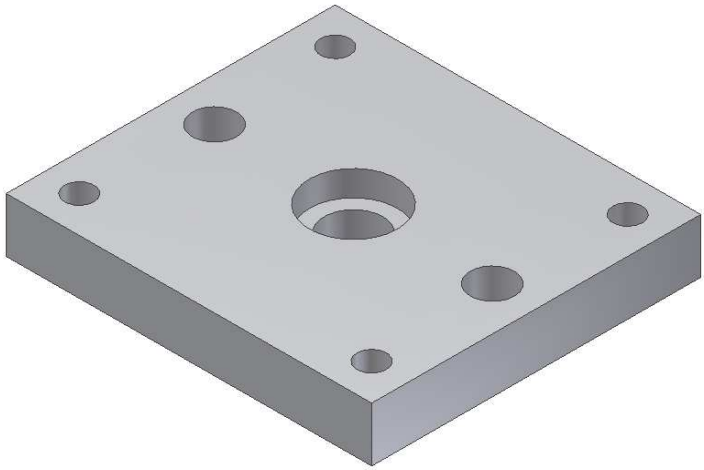


Figura 3.20a. Soporte para rodamiento anterior[51]

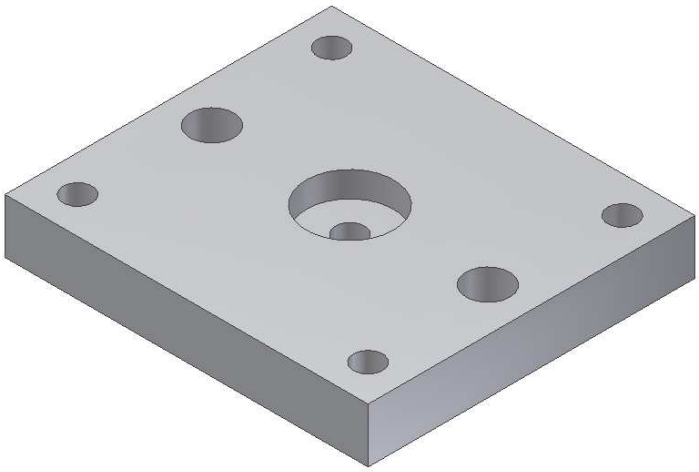


Figura 3.20b. Soporte para rodamiento posterior[52]

[51] Obtenido del Software Inventor Profesional 2008
[52] Idem

Dichos elementos no se encuentran sujetan a mayores solicitaciones mecánicas, por lo que su diseño simplemente deberá cumplir determinados requerimientos geométricos, que permitan el montaje tanto de guías, de los rodamientos y de bocines.

Las dimensiones brutas para ambas placas son las que se detallan en la tabla 3.15, que se muestra a continuación:

Tabla 3.15. Dimensiones de soporte de rodamiento

Longitud [mm]	Ancho [mm]	Espesor [mm]
100	90	15

Fuente: Leonardo Beltrán - Santiago Vela
Elaborado: Leonardo Beltrán - Santiago Vela

3.1.10 DISEÑO DE SOPORTE PARA MOTOR HORIZONTAL

El soporte para el motor que va acoplado al tornillo de potencia horizontal, está construido de aluminio, debido a su peso bajo y su facilidad para el maquinado. Este elemento tiene como funciones sostener al motor y dar apoyo para las guías horizontales, para dicho fin se han realizado agujeros pasantes para los pernos de sujeción así como también para las guías horizontales. El detalle de la geometría de la placa se muestra en la figura 3.21.

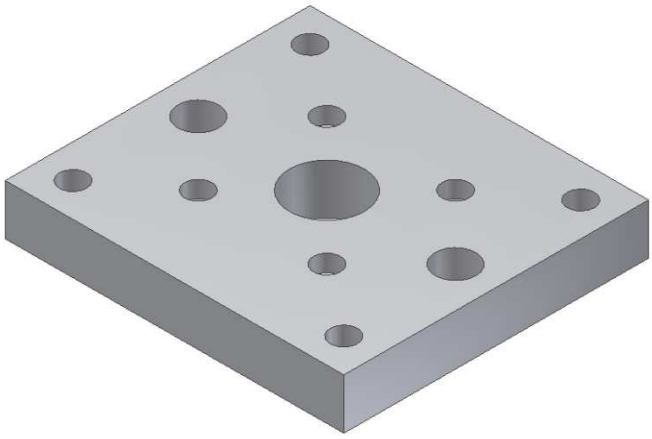


Figura 3.21. Soporte para motor horizontal[53]

[53] Idem

Dicho elemento no se encuentran sujeto a mayores solicitaciones mecánicas, por lo que su diseño simplemente deberá cumplir determinados requerimientos geométricos, que permitan el montaje de las guías y del motor

Las dimensiones brutas para la placa son las que se detallan en la tabla 3.16, que se muestra a continuación:

Tabla 3.16. Dimensiones de soporte de motor

Longitud [mm]	Ancho [mm]	Espesor [mm]
100	90	15

Fuente: Leonardo Beltrán - Santiago Vela
Elaborado: Leonardo Beltrán - Santiago Vela

3.1.11 DISEÑO DE PLACA BASE DE PLANCHAS

La placa base para las planchas de poliestireno expandido, está construido de mica, debido a su peso bajo y su facilidad para el maquinado. Este elemento tiene como única función dar apoyo al elemento a cortar y a las prensas de fijación, cuenta con alojamientos roscados que servirán para fijar la prensa móvil de acuerdo al espesor de la plancha a cortar. El detalle de la geometría de la placa se muestra en la figura 3.22.

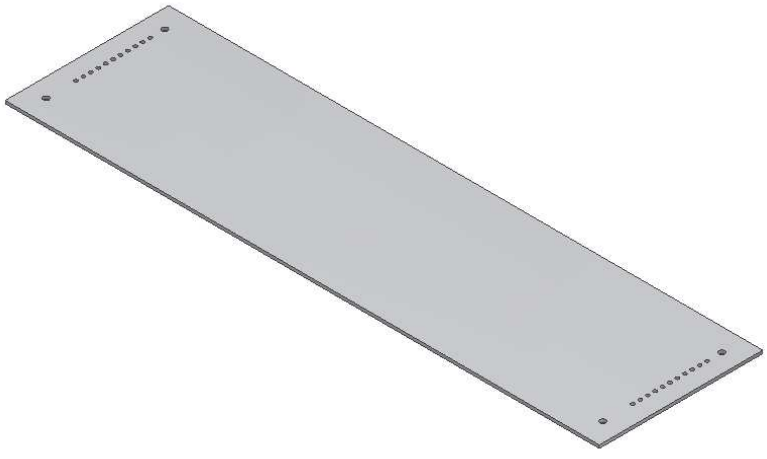


Figura 3.22. Placa soporte para planchas[54]

[54] Idem

Dicho elemento no se encuentran sujeto a mayores solicitaciones mecánicas, por lo que su diseño simplemente deberá cumplir determinados requerimientos geométricos, que permitan el montaje de las prensas de fijación.

Las dimensiones brutas para la placa son las que se detallan en la tabla 3.17, que se muestra a continuación:

Tabla 3.17. Dimensiones de soporte de motor

Longitud [mm]	Ancho [mm]	Espesor [mm]
800	220	2

Fuente: Leonardo Beltrán - Santiago Vela
Elaborado: Leonardo Beltrán - Santiago Vela

3.1.12 DISEÑO DE PRENSAS DE FIJACION

Las prensas de fijación serán elaboradas a partir de perfiles en L y como material se ha seleccionado el aluminio, debido a su peso bajo y su facilidad para el doblado. Estos elementos brindaran la fijación necesaria a las planchas de poliestireno expandido, para ello la una deberá ser fija y la otra móvil para permitir cortar diferentes espesores de plancha. El detalle de la geometría de las prensas de fijación se muestra en la figura 3.23.

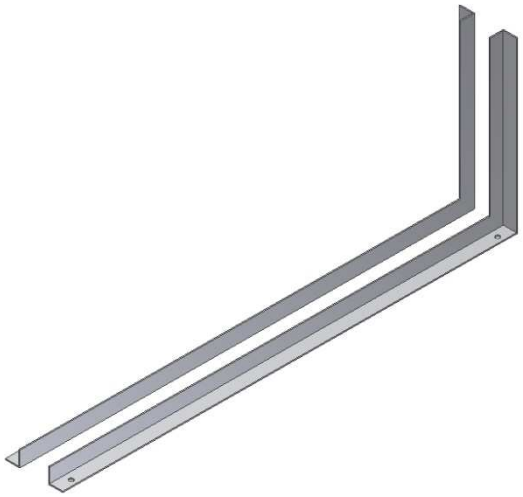


Figura 3.23. Placa soporte para planchas[55]

[55] Idem

Dicho elemento no se encuentran sujeto a mayores solicitaciones mecánicas, por lo que su diseño simplemente deberá cumplir determinados requerimientos geométricos.

Las dimensiones brutas para las prensas de fijación son las que se detallan en la tabla 3.18, que se muestra a continuación:

Tabla 3.18. Dimensiones de soporte de motor

Longitud [mm]	Altura [mm]	Espesor [mm]
800	300	2

Fuente: Leonardo Beltrán - Santiago Vela
Elaborado: Leonardo Beltrán - Santiago Vela

3.1.13 SELECCIÓN DE BOCINES

Con el fin de absorber posibles desalineaciones en las guías horizontales y verticales, se ha visto necesario la inclusión de elementos que permitan estas variaciones de posición, para ello se recomienda el uso de bocines de caucho que cumplirían con dicha función.

3.1.14 DISEÑO DEL BASTIDOR

El bastidor será construido de madera, debido a la facilidad que presenta este material para el maquinado. Este elemento tiene como función dar apoyo a todos los elementos anteriormente indicados, así como también a la caja de control de la maquina. El detalle de la geometría de la placa se muestra en la figura 3.24.

Puesto que no se encuentran sujeto a mayores solicitaciones mecánicas, su diseño simplemente deberá cumplir determinados requerimientos geométricos, que permitan el montaje de los demás componentes de la maquina

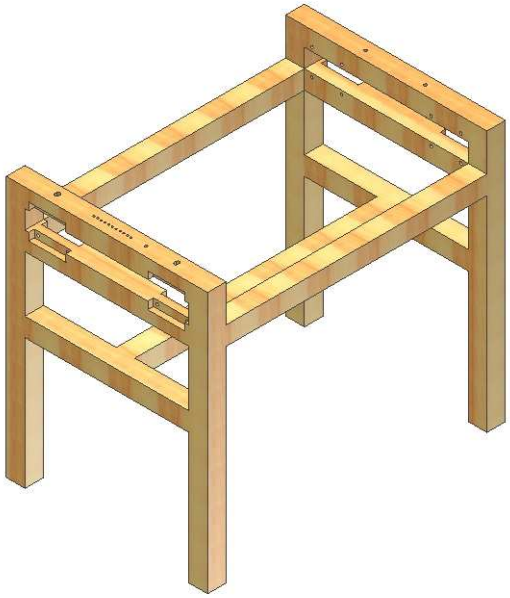


Figura 3.24. Bastidor[56]

Las dimensiones brutas para el bastidor suponiendo que sea un paralelepípedo son las que se detallan en la tabla 3.19, que se muestra a continuación:

Tabla 3.19. Dimensiones de soporte de motor

Longitud [mm]	Ancho [mm]	Altura [mm]
800	540	700

Fuente: Leonardo Beltrán - Santiago Vela
Elaborado: Leonardo Beltrán - Santiago Vela

[56] Idem

3.2 DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO

3.2.1 INTRODUCCION

La tarjeta de control está diseñada para realizar el control de cuatro motores de paso tipo unipolares (6 cables), instalados de tal manera que se produzca el desplazamiento de dos ejes en coordenadas X y Y.

Este control de los motores de pasos se realizó en base al software Foamworks 3.0 que envía datos de posicionamiento en el plano X e Y a través del pórtico paralelo, los cuales son tratados en un micro controlador pic16f877A.

Además del control del posicionamiento de los ejes X e Y, se realiza el control de temperatura del alambre para el corte de la materia prima (poliestireno expandido), este control se realiza con el fin de obtener un corte lo más fino y preciso posible.

Para el desarrollo de la placa se establecieron dos secciones una llamada de control y otra llamada de potencia, a continuación se detallan de mejor manera esas partes.

3.2.2 CIRCUITO DE CONTROL

El circuito de control se compone básicamente de los pines de recepción de las señales de pórtico paralelo, de las salidas para el control de los motores, de un circuito de cruce por cero, de un circuito para el control de fase directo del cable cortador y de la fuente de alimentación.

3.2.2.1 Puerto paralelo

Desde el puerto paralelo del computador salen 6 señales de control a ser analizadas por el micro controlador, estas señales son para conocer el sentido del movimiento de los ejes (4 pines), así como también los pasos que deben dar los motores (2 pines).

La señal entregada por los pines que sirven para controlar los motores, es una señal de tipo cuadrada cuya frecuencia depende de la velocidad a la que se desea que los motores den los pasos.

Los pines del pórtico paralelo se conectan al micro controlador como se muestra en la figura 3.25.

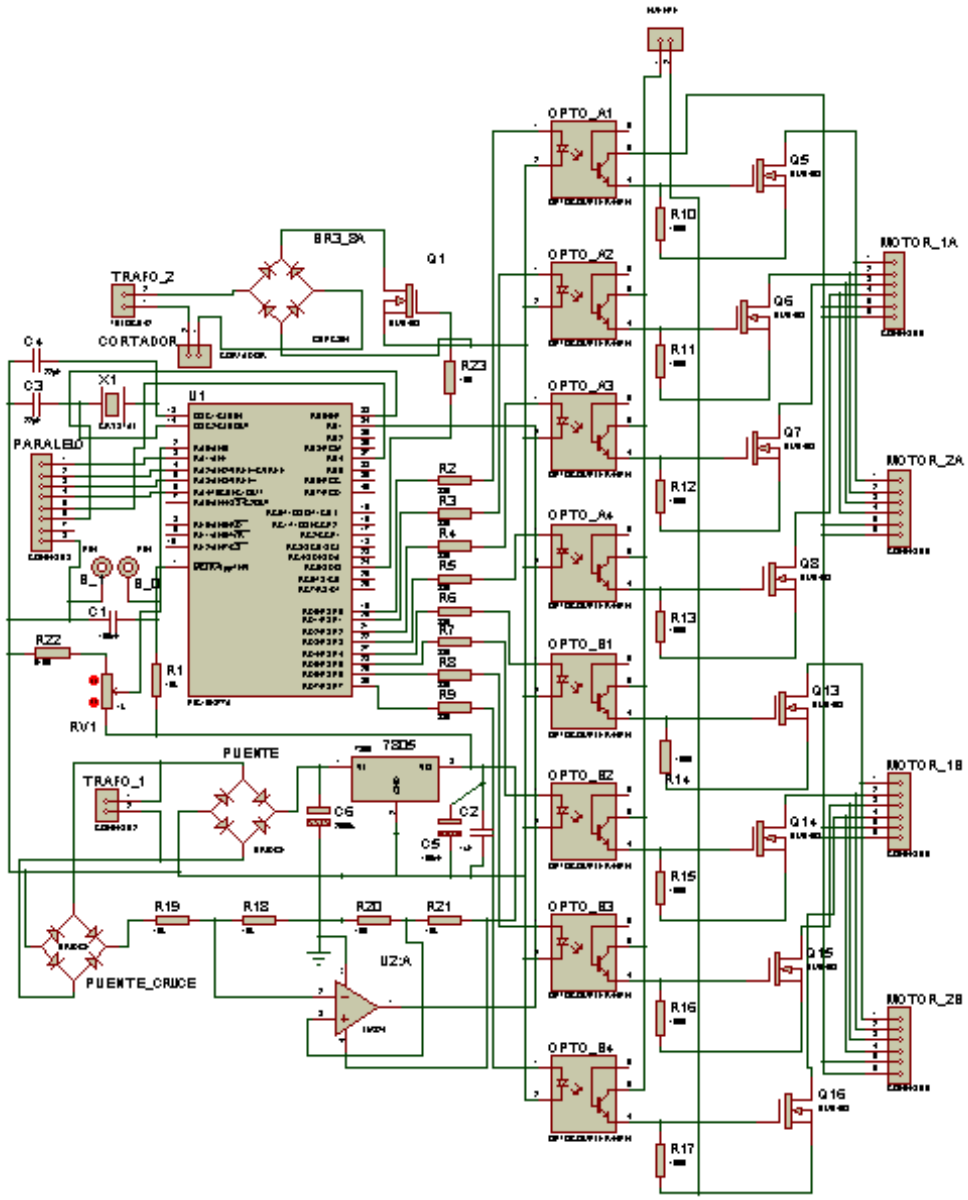


Figura 3.25. Esquema de conexión de pines del puerto paralelo[57]

[57] Obtenidos Software Proteus

La asignación de pines del pórtico paralelo debe fijarse previamente en el software empleado.

3.2.2.2 Control de motores

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos.

La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8°, es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso (90°) y 200 para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360°.

Estos motores poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición o bien totalmente libres. Si una o más de sus bobinas están energizados, el motor estará enclavado en la posición correspondiente y por el contrario quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas.

Los motores de paso básicamente se controlan en función de pulsos en una secuencia definida. Existen tres secuencias posibles para los motores unipolares, las cuales se detallan a continuación. Todas las secuencias comienzan nuevamente por el paso 1 una vez alcanzado el paso final (4 u 8). Para revertir el sentido de giro, simplemente se deben ejecutar las secuencias en modo inverso.

Secuencia Normal: Esta es la secuencia más usada y la que generalmente recomienda el fabricante. Con esta secuencia el motor avanza un paso por vez y debido a que siempre hay al menos dos bobinas activadas, se obtiene un alto torque de paso y de retención.

La figura 3.26 nos muestra la rutina de esta tipo de secuencia.

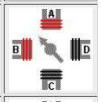
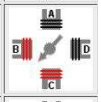
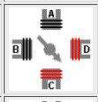
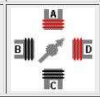
PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	ON	OFF	OFF	
2	OFF	ON	ON	OFF	
3	OFF	OFF	ON	ON	
4	ON	OFF	OFF	ON	

Figura 3.26. Secuencia normal del control de un motor unipolar[58]

Secuencia del tipo wave drive: En esta secuencia se activa solo una bobina a la vez. En algunos motores esto brinda un funcionamiento más suave. La contrapartida es que al estar solo una bobina activada, el torque de paso y retención es menor. La rutina se muestra en la figura 3.27.

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	OFF	OFF	OFF	
2	OFF	ON	OFF	OFF	
3	OFF	OFF	ON	OFF	
4	OFF	OFF	OFF	ON	

Figura 3.27. Secuencia del tipo wave drive del control de un motor unipolar[59]

Secuencia del tipo medio paso: En esta secuencia se activan las bobinas de tal forma de brindar un movimiento igual a la mitad del paso real. Para ello se activan primero 2 bobinas y luego solo 1 y así sucesivamente. Como vemos en la figura 3.28 la secuencia completa consta de 8 movimientos en lugar de 4.

[58] http://www.todorobot.com.ar/productos/motores/motores.htm#stepper

[59] Idem

1	ON	OFF	OFF	OFF	
2	ON	ON	OFF	OFF	
3	OFF	ON	OFF	OFF	
4	OFF	ON	ON	OFF	
5	OFF	OFF	ON	OFF	
6	OFF	OFF	ON	ON	
7	OFF	OFF	OFF	ON	
8	ON	OFF	OFF	ON	

Figura 3.28. Secuencia del tipo medio paso del control de un motor unipolar[60]

Para lograr el aislamiento entre el control y la potencia a cada salida del micro controlador se ha colocado un optoacoplador, el cual aísla la parte de control de la tarjeta de la potencia (manejo de motores), el esquema de éste se puede observar en la figura 3.29.

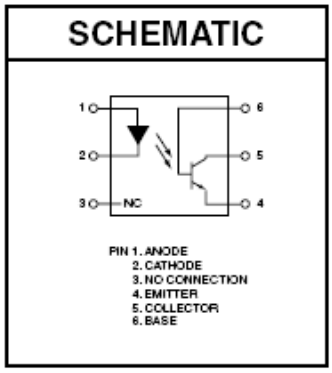


Figura 3.29. Esquema de optoacoplador

Básicamente se da una señal 5V que sale de un pin del micro controlador hacia el pin uno del optoacoplador, cuando esto sucede el transistor (pines 5 y 6) se cierra, cabe recalcar que el pin 2 de este elemento está conectado a tierra, y entre el pin de salida del micro controlador y el pin 1 del elemento debe estar colocada una resistencia de 330 ohms. Ver figura 3.25.

[60] Idem

Existen 8 de estos elementos debido a que se necesitan controlar 4 motores que funcionarán de dos en dos, es decir 4 por cada par de motores. Son cuatro optoacopladores por cada motor, debido a que se tiene 4 cables de control de cada motor para realizar la secuencia de paso.

3.2.2.3 Control de fase directo

Básicamente el control de fase directo es una manera de cortar la señal sinusoidal (ver figura 3.30) de manera que disminuya el voltaje y por tanto la corriente que se genera en la carga, de esta manera es posible regular la temperatura requerida para un correcto funcionamiento del cable de corte.

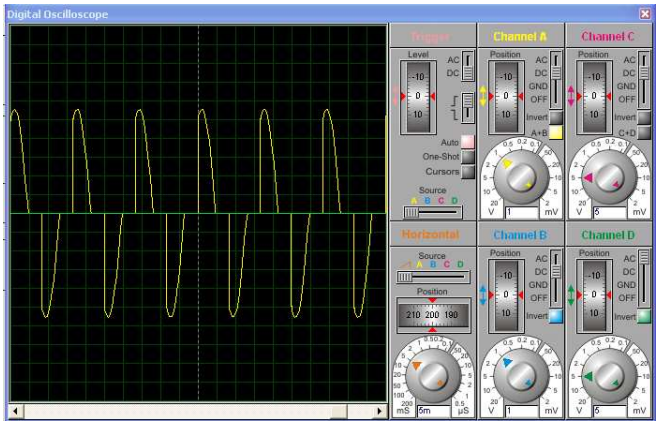


Figura 3.30a Voltaje sobre la carga con potenciómetro al 50%[61]

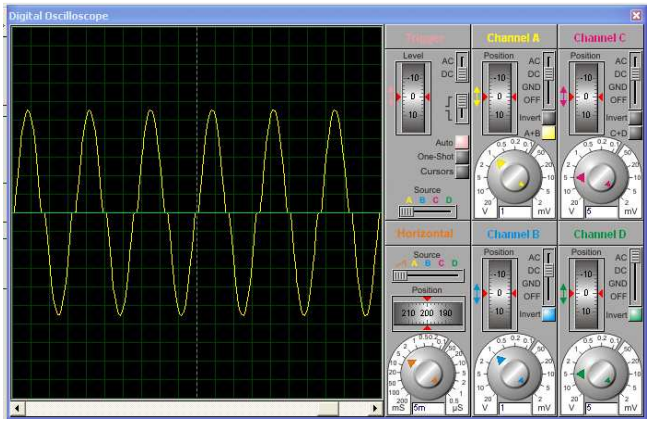


Figura 3.30b Voltaje sobre la carga con el potenciómetro a 100%[62]

[61] Obtenidos del Software Proteus
[62] Idem

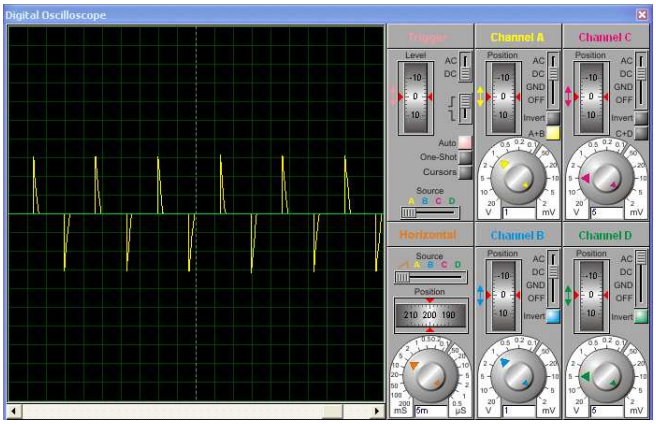


Figura 3.30c Voltaje sobre la carga cuando el potenciómetro está al 0%[63]

En el caso de este proyecto este control se logró en base a un conversor a/d del micro controlador el cual recibe la señal de voltaje que se presenta en el potenciómetro y lo convierte en un rango de funcionamiento para un mosfet, el cual se cierra a una frecuencia determinada en base a la señal del potenciómetro, el circuito para este control se presenta en la figura 3.31.

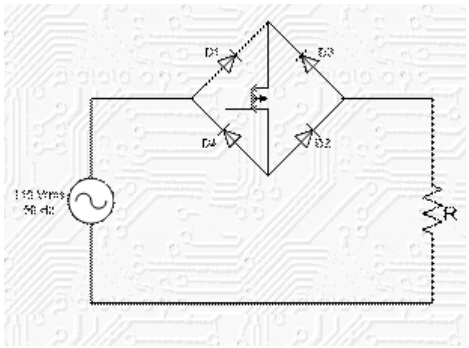


Figura 3.31. Circuito de un conversor a/d

Como resultado de esta transformación y en base a los tiempos de encendido y apagado del mosfet obtenemos las ondas presentadas en la figura 3.30. Para lograr este control también se ha utilizado un circuito de cruce por cero, este circuito básicamente hace una comparación entre la señal que sale del transformador y el puente rectificador, con lo cual compara el voltaje, si este supera un valor cercano a cero entonces manda un pulso al micro controlador, c0mo se puede observar en el circuito de la figura 3.25.

[63] Idem

3.2.2.4 Fuente de alimentación

La fuente de alimentación es muy sencilla, corresponde a un transformador, un puente rectificador, un capacitor y un lm7805, este ultimo el encargado de entregar el voltaje deseado (5V). El circuito para este elemento se puede observar en la figura 3.32.

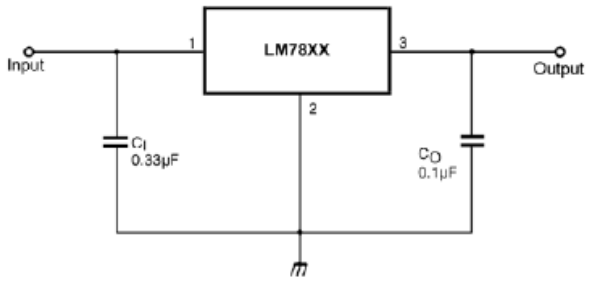


Figura 3.32. Circuito para un LM78XX

3.2.3 CIRCUITO DE POTENCIA

El circuito de potencia es solo el manejo de los motores en base a los mosfets, los mosfets son como transistores que se cierran frente a una señal en gate de 1Logico. De esta manera cuando el micro controlador lo ordena (1L o 5V) el optoacoplador se cierra y al mismo tiempo este ultimo provoca que se dé una señal de 5 V al gate del mosfet provocando que este también se cierre, y dejando así pasar la corriente a circular por el bobinado del motor. Ver conexiones en la figura 3.25

3.2.3.1 Algoritmo para el control del micro controlador

```
int contador_x=0;
int contador_y=0;
int variable=0;
int contador_cruce=0;
int valor_timer_l=0;
int valor_timer_h=0;
int contador_ad=0;
int contador_interrupcion=0;
void main() {
TRISA=0b11111111;
TRISB=0B00010011;
```

```
TRISC=0;
TRISD=0;
TRISE=0;
ADCON1=0B00001110;
ADCON0=0B01000001;
PIR1.ADIF=0;
PIE1.ADIE=1;
OPTION_REG=OPTION_REG||01000000;
OPTION_REG.INTEDG=1;
INTCON.GIE=1;
INTCON.PEIE=1;
INTCON.INTE=1;
INTCON.INTF=0;
intcon.RBIF=0;
t1con.TMR1CS=0;
PIE1.TMR1IE=1;
PIR1.TMR1IF=0;
portc=0;
portd=0;
adcon0.GO_DONE=1;
delay_us(100);
while(1){

volver:
if(contador_x==1) goto paso1;
if(contador_x==2) goto paso2;
if(contador_x==3) goto paso3;
if(contador_x==4) goto paso4;
goto salir_1;
paso1:
portd.rd0=1;
portd.rd3=0;
portd.rd1=1;
portd.rd2=0;
goto salir_1;
paso2:
portd.rd1=1;
portd.rd0=0;
portd.rd3=0;
portd.rd2=1;
goto salir_1;
paso3:
portd.rd2=1;
portd.rd1=0;
portd.rd0=0;
portd.rd3=1;
goto salir_1;
```

```
paso4:
portd.rd3=1;
portd.rd2=0;
portd.rd1=0;
portd.rd0=1;
salir_1:
if(portb.B1==1) goto cruce;
volver_de_cruce:
if(contador_y==1) goto paso1_y;
if(contador_y==2) goto paso2_y;
if(contador_y==3) goto paso3_y;
if(contador_y==4) goto paso4_y;
goto volver;

cruce:
if (contador_cruce==1) goto volver_de_cruce;
contador_cruce=1;
if (valor_timer_h<=230) valor_timer_h=230;
TMR1H=valor_timer_h;
TMR1L=255;
T1CON.TMR1ON=1;
portc.RC5=0;
goto volver_de_cruce;

paso1_y:
portd.rd4=1;
portd.rd7=0;
portd.rd5=1;
portd.rd6=0;
goto salir_2;
paso2_y:
portd.rd5=1;
portd.rd4=0;
portd.rd7=0;
portd.rd6=1;
goto salir_2;
paso3_y:
portd.rd6=1;
portd.rd5=0;
portd.rd4=0;
portd.rd7=1;
goto salir_2;
paso4_y:
portd.rd7=1;
portd.rd6=0;
portd.rd5=0;
portd.rd4=1;
```

```
salir_2:
portc.Rc6=0;
}
}
void interrupt () {
contador_interrupcion=contador_interrupcion+1;
if(contador_interrupcion>=20) adcon0.GO_DONE=1;
if(INTCON.INTF==1) goto INTERRUPCION_1;
if(intcon.RBIF==1) goto interrupcion_2;
if(PIR1.TMR1IF==1) goto interrupcion_3;
if(pir1.ADIF==1) goto interrupcion_4;
goto salir;

interrupcion_4:
pir1.adif=0;
contador_interrupcion=0;
valor_timer_h=adresh;
goto salir;

interrupcion_3:
T1CON.TMR1ON=0;
PIR1.TMR1IF=0;
portc.RC5=1;
contador_cruce=0;
goto salir;

INTERRUPCION_1:
INTCON.INTF=0;
if(PORTA.RA1==1 && porta.Ra2==1 )  goto adelante_x;
if(porta.RA1==0 && porta.Ra2==0 ) goto  atras_x;
goto salir;
adelante_x:
contador_x=contador_x+1;
if (contador_x==5) contador_x=0;
goto salir;
atras_x:
contador_x=contador_x-1;
if (contador_x<=0) contador_x=4;
goto salir;

interrupcion_2:
variable=portb;
intcon.RBIF=0;
if(portb.b4==1) goto seguir;
goto salir;
seguir:
if(PORTa.Ra3==1 && porta.Ra4==1 )  goto adelante_y;
```

```
if(porta.Ra3==0 && porta.Ra4==0 ) goto  atras_y;
goto salir;
adelante_y:
contador_y=contador_y+1;
if (contador_y==5) contador_y=0;
goto salir;
atras_y:
contador_y=contador_y-1;
if (contador_y<=0) contador_y=4;
goto salir;
salir:
delay_us(1);
}
```

CAPITULO IV

CONSTRUCCIÓN, ENSAMBLE Y CALIBRACION DEL PROTOTIPO

El presente capitulo tiene por objetivo presentar la construcción, el montaje y las pruebas realizadas del prototipo de la maquina cortadora de poliestireno expandido con control numérico computarizado, aspectos que serán detallados a continuación.

4.1 CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO[64]

En la construcción del prototipo se ha tomado como material base para la mayoría de elementos, principalmente aquellos que servirán de soporte, la madera, no obstante para los elementos "críticos" en cuanto a su funcionamiento se ha mantenido el material considerado en el diseño. El prototipo construido y ensamblado se puede apreciar en la figura 4.1.

Figura 4.1. Prototipo de la maquina cortadora de poliestireno expandido con control numérico computarizado

[64] Fuente Propia

Para la construcción del prototipo se han considerado pequeñas variaciones respecto a la maquina real como son:

- Altura del prototipo menor que la altura real de la maquina.
- Longitud del tornillo de potencia horizontal menor que la longitud del tornillo de la maquina real
- Cambio del perfil de la rosca
- Acople flexible
- Guías verticales y horizontales
- Material de los carros vertical y horizontal
- Material de las placas soporte de los rodamientos
- Material de placa soporte de guías
- Material para collarín.
- Material para placa soporte de planchas de poliestireno expandido.

La altura es una dimensión que se ha reducido, con la única finalidad de ahorro de material, dicha variación no influyen en nada en el comportamiento de la maquina.

La variación que se ha considerado es del orden del 30% en disminución, es decir la altura final a la placa soporte de las planchas del poliestireno expandido es de 50 cm, como se puede observar en la figura 4.2.

Figura 4.2. Altura del prototipo

La variación de la longitud del tornillo se la ha realizado tomando en cuenta que en cálculos preliminares se ha encontrado que esta no es un factor influyente en la maquina ya que con variaciones de hasta un 40% en exceso no presenta cambios fundamentales en el comportamiento de la misma Observando que en el prototipo se está empleando un tornillo con un valor inferior al del diseño en cuanto a longitud se garantiza el correcto desempeño de la maquina.

La variación que se ha dado es del orden del 25% en disminución, es decir la longitud del tornillo de potencia horizontal es de 60 cm, tal cual indica la figura 4.3.

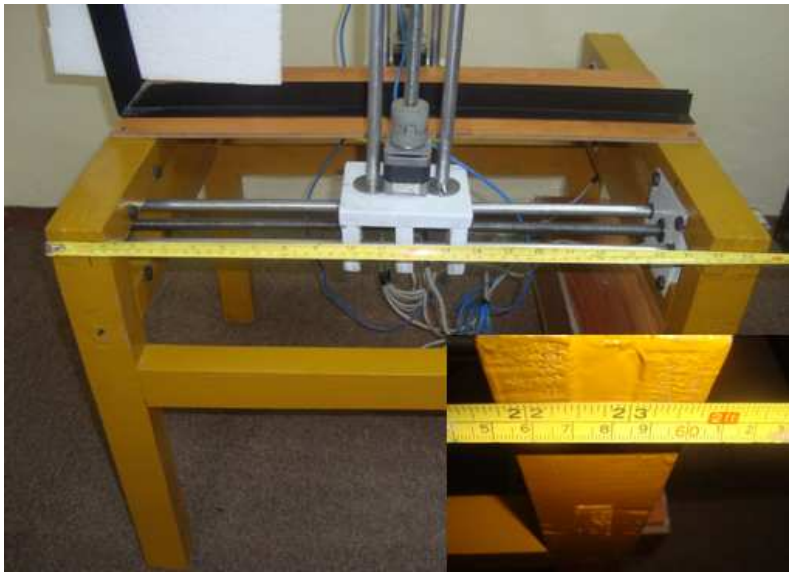


Figura 4.3. Longitud del tornillo de potencia horizontal

Un punto a tomar en cuenta es el cambio del perfil de la rosca, para un óptimo funcionamiento se diseñó la maquina con un perfil de rosca ACME, pero al encontrase con restricciones debido a dos factores fundamentalmente que son:

- Dificultad en cuanto a fabricación en el medio local
- No disponibilidad en el mercado local.

Se adopto como medida sustitutiva un perfil de rosca métrica con el mismo diámetro y paso que el perfil de la rosca considerada en el diseño, lo que provoca un ligero requerimiento mayor de torque por parte de los motores, los mismos que también se han sobredimensionado.

Así, el tornillo empleado, tanto para el tornillo de potencia horizontal como para el tornillo de potencia vertical, corresponde a un eje roscado de ½ pulgada de diámetro, como se puede apreciar en la figura 4.4 y que es de fácil adquisición en el mercado local.

Figura 4.4. Rosca métrica

El acople flexible se ha decidido fabricarlo con el objetivo de disminuir costos, y en vista de que el torque a transmitir no es elevado se ha tomado la decisión de cambiar el material del mismo, por lo antes mencionado el material usado para este elemento corresponde al duralón, el acople una vez construido es el que se muestra en la figura 4.5.

Figura 4.5. Acople

Debido a la disminución de la resistencia mecánica de algunos elementos por el cambio en cuanto al material, se ha decidido reforzarlo incrementando su espesor

a pesar de que cálculos preliminares señalan que los elementos afectados por este cambio de material no se encuentran expuestos a solicitaciones mecánicas que alteren el buen funcionamiento de la maquina.

El elemento que ha sufrido la modificación del espesor corresponde al carro horizontal, ya que desde un espesor de 4 mm en acero se ha llevado hasta un espesor de 15 mm en madera triplex, como se puede observar en la figura 4.6.

Figura 4.6. Carro horizontal

El material de la placa soporte de los rodamientos así como la placa soporte de los ejes verticales, se ha cambiado por motivos de facilidad de fabricación y disminución de costos. El material sustituto seleccionado es la madera en vista de lo antes anotado. Dichos elementos se indican en la figura 4.7.

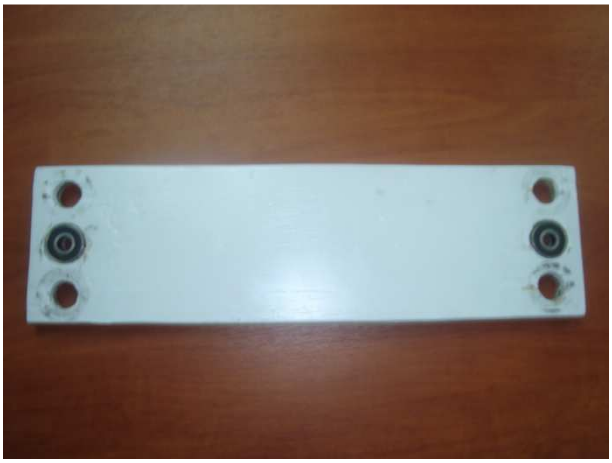


Figura 4.7. Placa soporte de ejes verticales

Las guías verticales y horizontales ha sido otros elementos modificados en cuanto al diseño de la maquina, para el prototipo se ha seleccionado tubo de aluminio de media pulgada de diámetro, en vista de que las solicitaciones mecánicas a las que están sometidas las guías son prácticamente despreciables, dicho cambio se lo ha realizado con el fin de disminuir costos de fabricación, puesto que este elemento es de fácil adquisición en el mercado local, la figura 4.10 muestra las guías tanto horizontal como vertical una vez construidas.

La construcción de la tuerca de empuje que va ajustado a los carros horizontales y verticales, para el prototipo ha sufrido una variación en cuanto al material, puesto que en cálculo se lo considera como bronce y para el prototipo se lo ha sustituido por acero, con el consecuente aumento de la fricción que ha sido solucionado a través de lubricación. La figura 4.8 indica uno de los collarines de empuje que han sido construidos.

Figura 4.8. Tuerca de empuje

Otro elemento que ha sido sustituido su material de fabricación es la placa soporte de las planchas de poliestireno expandido, y para tal efecto se ha seleccionado la madera. Para este elemento a más del material sea variado el espesor puesto que para facilidad de fabricación fue conveniente aumentar dicha dimensión. La figura 4.9 muestra la placa elaborada.

Figura 4.9. Placa base para planchas de espuma-flex

Estas variaciones se han llevado a cabo puesto que el propósito de la construcción del prototipo es la comprobación del correcto funcionamiento del sistema de control, y no está orientado a la verificación de solicitaciones mecánicas, esfuerzos, deformaciones.

Los demás elementos constitutivos de la maquina como son: rodamientos, pernos, arandelas, tuercas han sido adquiridos de acuerdo a las especificaciones de los planos.

4.2 ENSAMBLAJE DEL PROTOTIPO

El ensamble del prototipo lo realizaremos mediante una secuencia numerada de operaciones que se detallan a continuación:

Antes del ensamble se debe realizar la construcción de todos los elementos y adquisición de los elementos seleccionados así como de los elementos de ajuste y sujeción.

El ensamble lo haremos por conjuntos para facilidad de explicación de la secuencia de armado.

El conjunto1 a ensamblar estará formado por:

- Carro horizontal y tuerca
- Motor y acople
- Guías verticales

La tabla 4.1 nos muestra las operaciones así como la ilustración del ensamblaje del conjunto 1

Tabla 4.1. Proceso del ensamblaje del conjunto 1

Ilustración	Operación
	1. Colocar tuerca en el carro horizontal
	2. Colocar bocines en guías verticales.
	3. Colocar guías verticales en carro horizontal
	4. Colocar acople al motor
	5. Colocar motor en el carro horizontal

El conjunto 2 estará formado por

- Placa soporte anterior
- Rodamiento anterior
- Acoplamiento
- Tornillo de potencia horizontal

El conjunto 3 estará formado por

- Guías horizontales
- Bocines

La tabla 4.2 nos muestra las operaciones así como la ilustración del ensamblaje del conjunto 2 y conjunto 3 así como su conjugación con el conjunto 1

Tabla 4.2. Proceso del esamblaje del conjunto 2, conjunto 3 y conjugación con conjunto 1

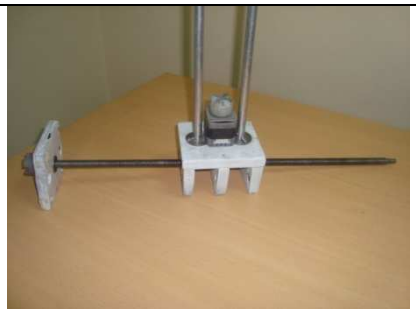
Ilustración	Operación
	1. Colocar rodamiento en placa soporte anterior 2. Colocar tornillo horizontal en placa soporte anterior 3. Colocar acople anterior en tornillo de potencia horizontal
	4. Conjugar conjunto 1 y 2
	5. Colocar bocines en extremo anterior de guías horizontales

Ilustración (continuación)	Operación (continuación)
	6. Colocar guías horizontales en carro horizontal
	7. Colocar bocín en extremo posterior de guías horizontales

El conjunto 4 estará formado por

- Tornillo de potencia vertical
- Carro vertical y tuerca
- Topes, arandelas y bocines

Este conjunto se conjugara con el conjunto 1 formado por el carro horizontal.

La tabla 4.3 nos muestra las operaciones así como la ilustración del ensamblaje del conjunto 4 así como su conjugación con el conjunto 1, 2 y 3 el cual posteriormente se llamara conjunto A, que es mostrado en la figura 4.10.

Tabla 4.3. Proceso del ensamblaje del conjunto 4 y conjugación con conjunto 1, 2, 3

Ilustración	Operación
	1. Colocar tuerca en carro vertical 2. Colocar acople en tornillo de potencia vertical

Ilustración (continuación)	Operación (continuación)
	3. Colocar carro vertical en tornillo de potencia vertical
	4. Conjugar el matrimonio del acople
	5. Colocar tope, arandela y bocín en guías verticales

Figura 4.10. Conjunto A

Para el conjunto B que corresponde a la otra torre se deben realizar los mismos pasos que para el conjunto A

El conjunto 5 estará formado por

- Placa base de planchas de poliestireno expandido
- Prensas de sujeción
- Bastidor con caja de control
- Rodamiento posterior
- Placa soporte de rodamiento posterior

La tabla 4.4 nos muestra las operaciones así como la ilustración del ensamblaje del conjunto 5

Tabla 4.4. Proceso del ensamblaje del conjunto 5

Ilustración	Operación
	1. Colocar placa base en bastidor
	2. Colocar prensas de fijación en placa base y bastidor
	3. Colocar rodamiento en placa soporte posterior 4. Colocar placa soporte en bastidor 5. Conjugar placa soporte con conjunto A

Ilustración (continuación)	Operación (continuación)
	6. Colocar el conjunto B repitiendo los pasos 3, 4 y 5

Los siguientes pasos culminaran con el ensamblaje del prototipo, y se detallan en la tabla 4.5.

Tabla 4.5. Proceso del ensamblaje final del prototipo

Ilustración	Operación
	1. Colocar alambre de corte
	2. Colocar rodamientos en placa soporte de guías verticales
	3. Colocar acople en motor posterior 4. Colocar motor en placa soporte posterior

Ilustración (continuación)	Operación (continuación)
	5. Montar placa soporte posterior en bastidor, para el conjunto A y B
	6. Colocar placa soporte de guías verticales.

4.3 CALIBRACIÓN Y PRUEBAS DEL PROTOTIPO[65]

Para el corte de las planchas de se deben considerar principalmente dos variables:

- Velocidad de avance
- Temperatura del alambre de corte

La temperatura influye en el acabado del corte del elemento, en tanto que la velocidad interviene en la geometría del elemento.

Para determinar la óptima velocidad así como temperatura de funcionamiento, se realizaron varias pruebas de corte. Con el fin de contrastar este par de variables, se ha realizado 25 cortes con 5 temperaturas y con 5 velocidades diferentes.

Tomaremos en primer lugar una velocidad de 2.5 in/min y a 5 diferentes temperaturas, previamente marcadas en la maquina. Los cortes realizados son los que se muestran en las figuras 4.11a y 4.11b.

[65] Fuente Propia

Figura 4.11a. Corte a velocidad 1 y varias temperaturas

Figura 4.11b. Perfil de corte a velocidad 1 y varias temperaturas

A esta velocidad la geometría varía de un corte a otro, teniendo mejores resultados en el corte V1-T1, V1-T4 y V1-T5 en cuanto a geometría. Si analizamos el acabado superficial a T2 y T4 se tiene menor nivel de rugosidades.

Al aumentar la velocidad a 3.5 in/min y a 5 diferentes temperaturas, previamente marcadas en la maquina. Los cortes realizados son los que se muestran en las figuras 4.12a y 4.12b.

Figura 4.12a. Corte a velocidad 2 y varias temperaturas

Figura 4.12b. Perfil de corte a velocidad 2 y varias temperaturas

A esta velocidad la geometría varía en menor grado que en velocidad 1, teniendo cortes prácticamente homogéneos en cuanto a geometría, siendo el corte V2-T5 el de mejor geometría. Si analizamos el acabado superficial a T4 se tiene menor nivel de rugosidades frente a los demás.

Para una velocidad de 4.5 in/min y a 5 diferentes temperaturas, los cortes realizados son los que se muestran en las figuras 4.13a y 4.13b.

Figura 4.13a. Corte a velocidad 3 y varias temperaturas

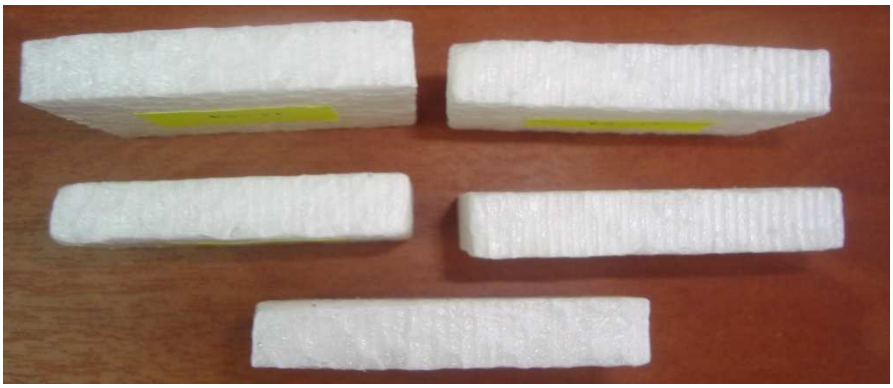


Figura 4.13b. Perfil de corte a velocidad 3 y varias temperaturas

A esta velocidad (4.5 in/min) la geometría varía drásticamente de un corte a otro, teniendo mejores resultados en el corte V3-T1, V3-T2 y V3-T5 en cuanto a geometría. En cuanto al acabado superficial en T3 y T5 se tiene menor nivel de rugosidades.

Incrementando la velocidad a 5.5 in/min y a 5 diferentes temperaturas, previamente marcadas en la maquina. Los cortes realizados son los que se muestran en las figuras 4.14a y 4.14b.

Figura 4.14a. Corte a velocidad 4 y varias temperaturas

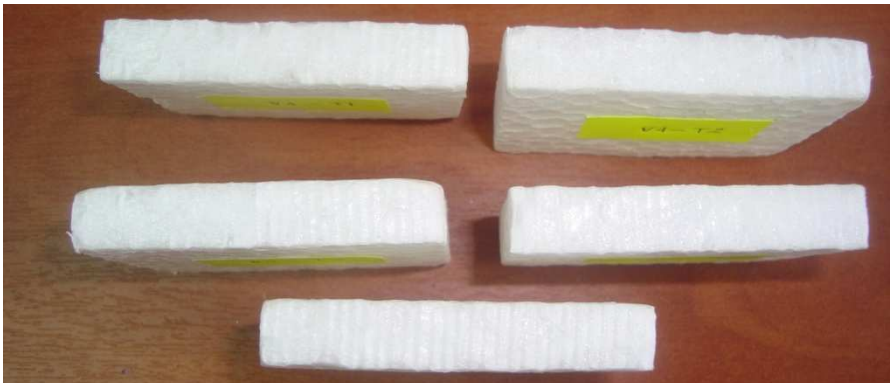


Figura 4.14b. Perfil de corte a velocidad 4 y varias temperaturas

A esta velocidad la geometría varía muy poco, los cortes en todos los elementos son prácticamente los mismos. Si analizamos el acabado superficial a partir de T3 se obtiene un menor nivel de rugosidades.

Finalmente a velocidad de 6.5 in/min y a 5 diferentes temperaturas, previamente marcadas en la maquina. Los cortes realizados son los que se muestran en las figuras 4.15a y 4.15b.

Figura 4.15a. Corte a velocidad 5 y varias temperaturas

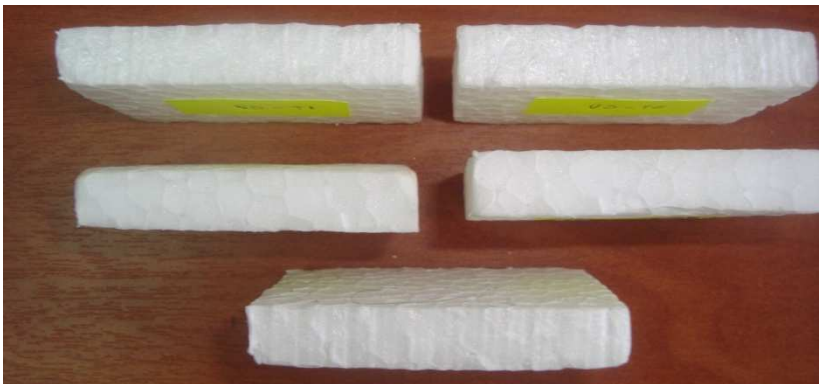


Figura 4.15b. Perfil de corte a velocidad 5 y varias temperaturas

A esta velocidad la geometría varía de un corte a otro, teniendo mejores resultados en el corte, V5-T4 y V5-T5. Si analizamos el acabado superficial a T3 y T4 se tiene menor nivel de rugosidades.

Contrastando todos los datos obtenidos podemos concluir que los mejores resultados se obtienen en la velocidad V4 (5.5 in/min) y un valor de temperatura que podría ser T3 o T4. Así obtenemos la muestra V4-T4 que se indica en la figura 4.16a y 4.16b.

Figura 4.16a. Corte a velocidad 4 y temperatura 4

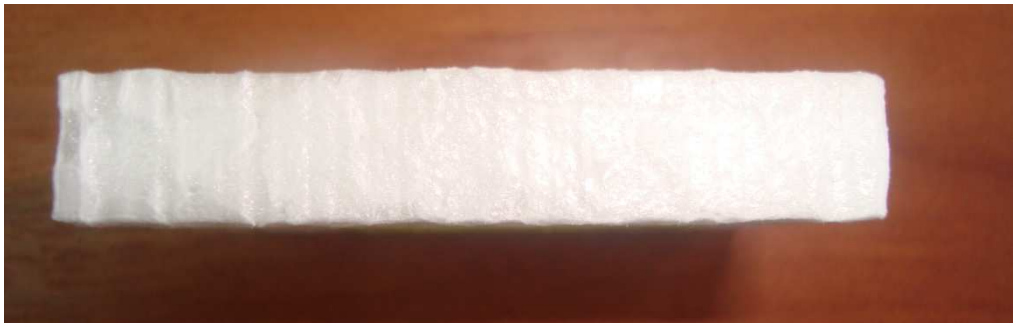


Figura 4.16b. Perfil de corte a velocidad 4 y temperatura 4

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Con la finalidad de estudiar el funcionamiento del prototipo se ha considerado conveniente variar materiales así como ciertas geometrías en elementos no comprometidos, para que esto no afecte la funcionalidad del prototipo. No obstante el prototipo mostro un comportamiento muy semejante al esperado por la maquina, lo que permite concluir que una vez la maquina construida funcionara correctamente para el propósito requerido.
- La precisión en las medidas de los elementos mecánicos que conforman el prototipo facilita el montaje y ensamblaje del mismo, para ello deben tomarse en cuenta las tolerancias anotadas. Puesto que a través de un adecuado ensamble garantizaremos un correcto desempeño del prototipo.
- Un aspecto importante a ser considerado es el acabado superficial en los agujeros pasantes del carro horizontal y las guisa conjugadas ya que el perfecto desempeño de esta pareja conjugada facilita el desplazamiento en la dirección X.
- El componente electrónico desempeña un papel importante en el presente proyecto, puesto que nos permite enlazar la parte mecánica con la parte informática.
- En la construcción del prototipo a fin de evitar posibles desalineaciones así como también ruido, se ha visto que la mejor alternativa para atenuar estos fenómenos es la incorporación de bocines de caucho montados en las placas soporte de rodamiento anterior y posterior
- Ensayos realizados del corte demostraron que a medida que se reduce el diámetro del alambre de corte es necesario reducir de igual manera se hace necesario reducir la temperatura a la que se realizará el corte.
- Continuando con las pruebas del alambre de corte se encontró que a mayor distancia del alambre se hacía necesario elevar el voltaje en el

mismo para así poder obtener la temperatura adecuada para un óptimo corte, de esta manera encontramos que la distancia optima varia en un intervalo de 50 a 60 cm.

5.2 RECOMENDACIONES

- Para un mejor funcionamiento de la maquina es recomendable reducir los pesos de las torres, para ello una alternativa es variar el material de las guías verticales, del tornillo de potencia vertical o de la placa soporte de las guías verticales, un material que se aproxima a los requerimientos es el duralon, pero esto encarece la máquina.
- Correctos ajustes y tolerancias son importantes para el correcto funcionamiento, por ello se recomienda realizar las perforaciones de las placas al mismo tiempo lo cual garantice un mejor alineamiento entre si.
- El momento de la construcción del bastidor se debe tener en cuenta la correcta ubicación de las perforaciones para fijación de las placas de rodamiento anterior y posterior por lo cual es recomendable realizar dichas perforaciones con las placas montadas.
- El avance del tornillo depende en una proporción de una adecuada lubricación entre tornillo de potencia y tuerca de empuje, por lo que se recomienda permanente lubricación.
- Con el fin de evitar posibles averías en el sistema de control, específicamente en la tarjeta, se recomienda manipular el equipo en superficies que no posean estática, principalmente debido a que los mosfets podrían resultar quemados.
- La corriente que circula en la tarjeta provoca calentamiento del mismo por lo que se hace necesario la incorporación de un ventilador en la caja de control para así garantizar un mejor funcionamiento del control.
- Se debe tener cuidado con la disposición de las conexiones electrónicas para que estas permitan un mejor desenvolvimiento de la máquina, es decir se debe garantizar que los cables no interrumpan la trayectoria de los carros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BAWA H.S., (2007), *"Procesos de manufactura"*, Ed. Mc Graw-Hill, México.

2. GROOVER, (1984); *"CAD/CAM: Computer-Aided Design and Manufacturing"*, Ed. Prentice-Hall, USA.

3. KALPAKJIAN S. & SCHMID, S., (2002), *"Manufactura: Ingeniería y Tecnología"*, Ed. Pearson, México.

4. KHAN W. & RAOUF A., (2006), *"Standards for Engineering Design and Manufacturing";* CRC Press; New York.

5. KRAR S. & GILL A., (1999), *"Computer Numerical Control Programming Basics*", Industrial Press Inc. USA.

6. LEE K., (1999), *"Principles of CAD/CAM/CAE Systems*", Addison Wesley Longman, USA.

7. MADISON J., (1996), *"CNC Machining Handbook"*, Industrial Press Inc.; USA.

8. MATTSON M., (2002), *"CNC Programming: Principles and Applications*", Cengage Learning, USA.

9. MOLINA J. & SALAZAR N., (1986); *"Guía de Prácticas de Laboratorio de Termodinámica"*; Escuela Politécnica Nacional, ECUADOR.

10. NORTON L., (1999) *"Diseño de Máquinas",* Ed. Prentice Hall, México.

11. OGATA K., (1998), *"Ingeniería de Control Moderna"*, Ed. Pearson, México.

12. REHG J., & KRAEBBER H., (2001), *"Computer-Integrated Manufacturing"*, Ed. Prentice-Hall, USA.

13. SHIGLEY J. (2002*), "Diseño en Ingeniería Mecánica"*, Ed. Mc Graw-Hill, México.

14. SHIGLEY J. (1989), *"Manual de Diseño Mecánico"*, Ed. Mc Graw-Hill, USA.

15. TIMINGS R., (1998), *"Manufacturing Technology"*, Addison Wesley Longman, Inc., USA.

16. VELASTEGUÍ T., (2004), *"Producción por Virutaje",* EPN, Ecuador.

REFERENCIAS INTERNET

1. http://www.skfprodind.skf.es
2. http://www.textoscientificos.com/polimeros/poliestireno
3. http://www.fing.edu.uy/iimpi/academica/grado/elemmaq/teorico/TornilloDePotencia 2007
4. http://www2.ing.puc.cl/~icm2312/apuntes/roda
5. http://www.skf.com/portal/skf
6. http://www.todorobot.com.ar/productos/motores/motores.htm#stepper
7. http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_paso_a_paso

ANEXOS